

ISSN - 0120 - 1425

# BOLETIN GEOLOGICO



GEOLOGIA Y GEOQUIMICA DEL AREA DE CALIFORNIA, SANTANDER

Por

**Hernando Mendoza F. y Luis Jaramillo C.**

ESTUDIO GEOQUIMICO EN EL AREA PANTANOS - PEGADORCITO,  
MUNICIPIO DE FRONTINO Y DABEIBA, ANTIOQUIA

Por

**Octavio Ramírez A., Henry Alminas V., Alfonso Arias T.  
y Edwin L. Mosier**

Volumen XXII, No. 2, pp. 1-98, 1979  
Bogotá - Colombia  
ISSN - 0120 - 1425

Bol. Geol.  
Ingeominas

---

# BOLETIN GEOLOGICO

---

## INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
H. Mendoza y L. Jaramillo.                    Geología y Geoquímica del Area de California, Santander.	3 - 52
O. Ramírez, A. Arias,    Estudio Geoquímico en el Area Pantanos - Pegadorcito, H. Alminas E. Mosier.    Municipios de Frontino y Dabeiba, Antioquia. . . . .	53 - 98

EDITOR

Alberto Villegas Betancourt  
Geólogo



Precio de cada ejemplar:    En Ingeominas \$ 200.00 (US\$ 5.00)  
  Vía aérea        \$ 250.00 (US\$ 6.50)

El Boletín Geológico se publica en 3 números cada año en un formato de 17 x 24 cm.

Derechos Reservados por:

INGEOMINAS: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras  
Carrera 30 No. 51-59, Apartado Aéreo No. 4865 - Bogotá D.E. Colombia S.A.

*La responsabilidad de los conceptos emitidos en esta publicación  
corresponde exclusivamente a sus autores.*

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO-MINERAS



**GEOLOGIA Y GEOQUIMICA DEL AREA DE  
CALIFORNIA, SANTANDER**

**INFORME 1687**

**Por:**

**HERNANDO MENDOZA**

**y**

**LUIS JARAMILLO**

**BOGOTA, 1975**

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
<b>RESUMEN</b> . . . . .	8
<b>INTRODUCCION</b> . . . . .	8
OBJETO . . . . .	8
LOCALIZACION . . . . .	8
GEOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA . . . . .	8
METODO DE TRABAJO . . . . .	10
HISTORIA DE LA MINERIA . . . . .	10
AGRADECIMIENTOS . . . . .	10
<b>GEOLOGIA</b> . . . . .	15
<b>ESQUEMA GEOLOGICO REGIONAL</b> . . . . .	15
<b>DESCRIPCION GEOLOGICA DEL AREA TRABAJADA</b> . . . . .	15
<b>ROCAS METAMORFICAS</b> . . . . .	15
<i>Neis Bucaramanga</i> . . . . .	15
<b>ROCAS IGNEAS</b> . . . . .	16
<i>Cuarzodiorita</i> . . . . .	16
<i>Alaskita</i> . . . . .	17
<i>Pórfidos</i> . . . . .	18
<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b> . . . . .	23
<i>Formación Tambor</i> . . . . .	23
<i>Formación Rosablanca</i> . . . . .	23
<i>Depósitos Cuaternarios</i> . . . . .	23
<b>ESTRUCTURAS</b> . . . . .	23
<i>Pliegues</i> . . . . .	23
<i>Diaclasas</i> . . . . .	23
<i>Fallas</i> . . . . .	25
<i>Zonas de Brecha</i> . . . . .	25
<b>MINERALIZACION</b> . . . . .	27
<b>NATURALEZA GENERAL DE LA MINERALIZACION</b> . . . . .	27
<b>CONTROLES MINERALIZANTES</b> . . . . .	27
<b>ESTRUCTURAS MINERALIZADAS - FILONES</b> . . . . .	27
<b>ASOCIACIONES MINERALES</b> . . . . .	29
<b>ALTERACION</b> . . . . .	35
<b>ALTERACION ARGILICA</b> . . . . .	35
<b>ALTERACION PROPILITICA</b> . . . . .	36
<b>ALTERACION SERICITICA</b> . . . . .	36
<b>SILICIFICACION</b> . . . . .	36
<b>METEORIZACION - OXIDACION</b> . . . . .	36
<b>PROSPECCION GEOQUIMICA</b> . . . . .	38
<b>SISTEMA DE MUESTREO Y ANALISIS EFECTUADOS</b> . . . . .	38
<b>MUESTREO DE ROCAS</b> . . . . .	38
<b>MUESTREO DE SUELOS</b> . . . . .	38
<b>MUESTREO DE FINOS Y CONCENTRADOS DE BATEA</b> . . . . .	39
<b>RESULTADOS GEOQUIMICOS EN ROCAS</b> . . . . .	39
<b>ORO</b> . . . . .	39
<b>PLATA</b> . . . . .	41
<b>COBRE</b> . . . . .	41
<b>MOLIBDENO</b> . . . . .	41
<b>PLOMO</b> . . . . .	41
<b>ZINC</b> . . . . .	41
<b>ARSENICO</b> . . . . .	41
<b>ANTIMONIO</b> . . . . .	46
<b>MERCURIO</b> . . . . .	46
<b>CORRELACION DE ORO CON OTROS ELEMENTOS</b> . . . . .	46
<b>ORO - MERCURIO</b> . . . . .	46

ORO - PLATA . . . . .	46
ORO - ARSENICO - ANTIMONIO . . . . .	46
EVALUACION DE LAS ANOMALIAS . . . . .	46
FILONES . . . . .	48
ANOMALIA DE LA ANGOSTURA . . . . .	48
ANOMALIA DE SAN ANTONIO . . . . .	48
ANOMALIA DEL CHORRERON . . . . .	49
ZONACION . . . . .	49
CONCLUSIONES . . . . .	49
BIBLIOGRAFIA . . . . .	50

## FIGURAS

1. Localizacion del área estudiada . . . . .	9
2. Distribución de las áreas trabajadas . . . . .	11
3. Mapa Geológico Regional . . . . .	12a
4. Migmatita con estructura schlieren . . . . .	13
5. Migmatita cruzada por una vena de epidota . . . . .	13
6. Neis granodiorítico cataclástico con estructura estromática . . . . .	14
7. Microfotografía de neis cataclástico. Quebrada Chicaguá . . . . .	14
8. Pórfido granodiorítico. Río La Baja . . . . .	19
9. Microfotografía del pórfido granodiorítico . . . . .	19
10. Pórfido dacítico. Nacimiento quebrada La Higuera . . . . .	20
11. Microfotografía del pórfido dacítico . . . . .	20
12. Diagrama Rosa de 375 diaclasas en el área de California . . . . .	24
13. Brecha. Quebrada Chorrerón . . . . .	26
14. Microfotografía de la brechá anterior . . . . .	26
15. Diagrama Rosa de 44 filones en el área de California . . . . .	28
16. Roca granítica con vena de cuarzo . . . . .	30
17. Brecha mineralizada. Filón de San Celestino . . . . .	30
18. Zona de alteración paralela a una venilla de cuarzo con sulfuros. Río La Baja . . . . .	33
19. Histogramas de distribución de oro y su relación con el tipo de roca. Análisis por absorción atómica . . . . .	40
20. Histogramas de distribución de plata y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica . . . . .	42

21.	Histogramas de distribución de cobre y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica. . . . .	43
22.	Histogramas de distribución de molibdeno y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica . . . . .	44
23.	Histogramas de distribución de plomo y su relación con el tipo de roca. Determinación espectrográfica. . . . .	45
24.	Diagrama de correlación Au: Hg para 50 muestras de filones y roca encajante .	47

## CUADROS

1.	Principales minas activas en área de California . . . . .	12
2.	Análisis espectrográfico de 6 muestras de pórfido . . . . .	21
3.	Variaciones en el contenido metálico de acuerdo con el espesor del filón. (Mina La Francia).. . . . .	32
4.	Análisis espectrográfico de una muestra de filón comparado con los análisis de la muestra molida y concentrada (Mina La Mascota). . . . .	34
5.	Análisis espectrográfico de 5 muestras de filón y zonas de oxidación adyacente. (Cinco Minas). . . . .	37

## PLANCHAS

1.	Mapa Geológico del área de California . . . . .	52a
2.	Contenido de oro y plata en rocas. . . . .	52b
3.	Contenido de cobre en rocas . . . . .	52c
4.	Contenido de molibdeno en rocas. . . . .	52d

## RESUMEN

El Distrito Minero de California está situado unos 50 km al noreste de Bucaramanga, en el Municipio de California, Departamento de Santander; es conocido y explotado para oro y plata desde la época de la Colonia.

El área está constituida por rocas Pre-Devónicas de alto grado de metamorfismo, las cuales muestran carácter migmatítico. Esta secuencia es afectada por rocas intrusivas de edad Jura-Triásica, cuya composición varía de cuarzdiorita a cuarzomonzonita y granito. Facies porfíricas más jóvenes son emplazadas dentro de las rocas preexistentes como diques y pequeños stocks. Un silo de pórfido dacítico se presenta dentro de sedimentos del Cretáceo Inferior.

Los filones de cuarzo mineralizados, usualmente de color gris y con textura brechoide, se localizan en rocas ígneas y metamórficas. La intensidad de la alteración hidrotermal observada en estas rocas, aparentemente no depende de la composición sino principalmente del grado de fracturamiento. La mineralización consiste de oro, plata, pirita, cuarzo y menores cantidades de esfalerita, tetrahedrita, galena y calcopirita; varios filones contienen trazas de mineral de uranio.

Con el fin de conocer más a fondo las posibilidades económicas de una extensa zona mineralizada, se limitó un área de 24 km<sup>2</sup>, en la cual se llevaron a cabo estudios detallados de geología y prospección geoquímica. Los resultados de este trabajo constituyen el propósito del presente informe.

## INTRODUCCION

La presencia de oro en el Macizo de Santander se remonta a mediados del siglo XVI cuando ya los españoles trabajaban los aluviones del Río de Oro. El Distrito Minero de Vetas-California, localizado en la parte central del Macizo, se ha constituido en uno de los laboratorios naturales, para la investigación del Ingeominas en métodos de exploración geoquímica.

## OBJETO

El presente trabajo tiene como propósito la reevaluación del potencial de mineralización en el área de California. El proyecto fue programado por el INGEOMINAS con la BOL. GEOL. VOL. XXII - No. 2

colaboración del asesor americano James Evans, quien sugirió la posibilidad de encontrar oro diseminado en las rocas encajantes.

Mediante cartografía detallada y algunos datos estructurales, complementados con prospección geoquímica, se interpretan las características y el posible origen de los yacimientos de la región. Algunas conclusiones tentativas pueden requerir modificación a medida que se conozca más la extensión de la mineralización y sus relaciones geológicas y geoquímicas.

Un área de 24 km<sup>2</sup> con marcada alteración hidrotermal fue seleccionada para ser trabajada sobre mapas topográficos escala 1:2.000; posteriormente la información fue recopilada en planchas 1:5.000.

## LOCALIZACION

El área trabajada forma parte del Cuadrángulo H-13 y se localiza en la plancha 110-I-C, escala 1:25.000 del I.G.A.C., Bogotá (fig. 1).

El Municipio de California dista 51 km de la ciudad de Bucaramanga por carretera sin pavimentar aunque en condiciones aceptables. De la población parte un carreteable de aproximadamente 4 km hasta el sitio denominado La Baja, desde aquí se continúa por un camino de herradura con pendiente moderada y que da acceso a las minas que se encuentran a lo largo de la quebrada La Baja. Se proyecta prolongar el carreteable 1 km más arriba.

## GEOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

La zona de California presenta una topografía abrupta con elevaciones que fluctúan entre 2.000 y 3.400 m; las pendientes generalmente son mayores de 30° y los diferentes cursos fluviales suelen encontrarse en cañones relativamente estrechos.

En dirección suroeste y dividiendo en dos partes el área en estudio, corre la quebrada La Baja, formada por la unión de las quebradas Páez y Angostura. Dos kilómetros al noreste de la población de California la quebrada La Baja desemboca en el Río Vetas, afluente del Río Suratá. La región presenta un drenaje paralelo a subparalelo, aparentemente controlado por un sistema de diaclasas nor-noroeste y en algunos casos por fallas.

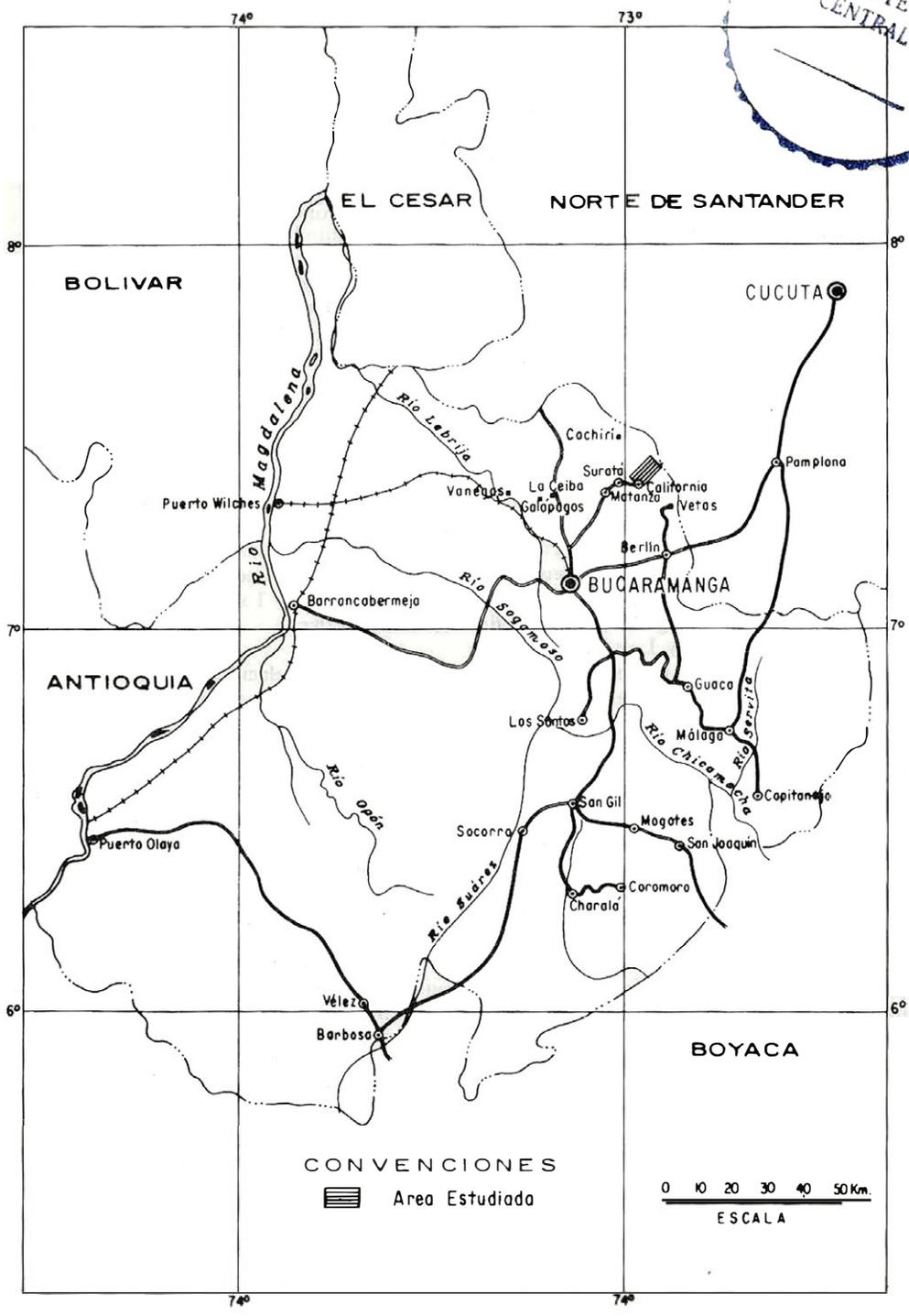
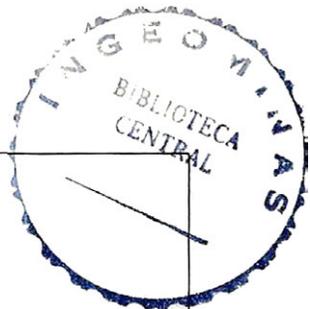


FIGURA 1. LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIADA.

Una vegetación constituida principalmente por arbustos predomina en la mayor parte del área. Zonas boscosas se localizan cerca a los nacimientos y a lo largo de los cursos de varias quebradas. El clima frío que predomina en la región, se torna húmedo en los sitios con elevaciones superiores a los 3.000 m. El ciclo hidrológico, afectado por continuos cambios en las condiciones atmosféricas, presenta una precipitación anual cuyo promedio está entre 1.000 y 1.500 mm.

La densidad de población es relativamente baja, parte de ella se ocupa principalmente en las labores mineras o en el mazarro a lo largo de la quebrada La Baja y el Río Vetas. La agricultura prácticamente se encuentra abandonada.

#### METODO DE TRABAJO

El trabajo de campo se llevó a cabo durante el año de 1973 y parte de 1974. La cartografía geológica y muestreo geoquímico estuvo a cargo de los geólogos: Alonso Otero, Jaime Reyes, Luis Jorge Mejía, Hernando Mendoza, James Evans y Luis Jaramillo; las áreas cubiertas por cada uno se muestran en la fig. 2. Para la elaboración del informe, éste se dividió en dos partes principales: la parte geológica realizada por Hernando Mendoza y la geoquímica a cargo de Luis E. Jaramillo.

Se tomaron alrededor de 600 muestras de roca, de las cuales 500 fueron analizadas por absorción atómica para oro y por el método espectrográfico para 32 elementos. El examen petrográfico de 105 secciones delgadas, además de 24 análisis anteriormente realizados por Richard Goldsmith, permitió interpretar las variaciones mineralógicas y texturales de las diferentes unidades litológicas. Un total de 63 muestras de sedimentos finos y 40 concentrados de batea se tomaron en las quebradas presentes en el área estudiada. A finales de 1973 se efectuó un muestreo de orientación de suelos a lo largo del Río La Baja, colectándose 120 muestras.

#### HISTORIA DE LA MINERIA

Los trabajos en el área de Vetas-California se remontan a los tiempos precolombinos. Alrededor del año 1550 se trabajaban los aluviones de Río de Oro y Río Suratá. La zona se caracteriza por la abundancia de estructuras mineralizadas; los filones de cuarzo relacionados con zonas de fractura de color

gris a gris oscuro, presentan buenos tenores de mineral.

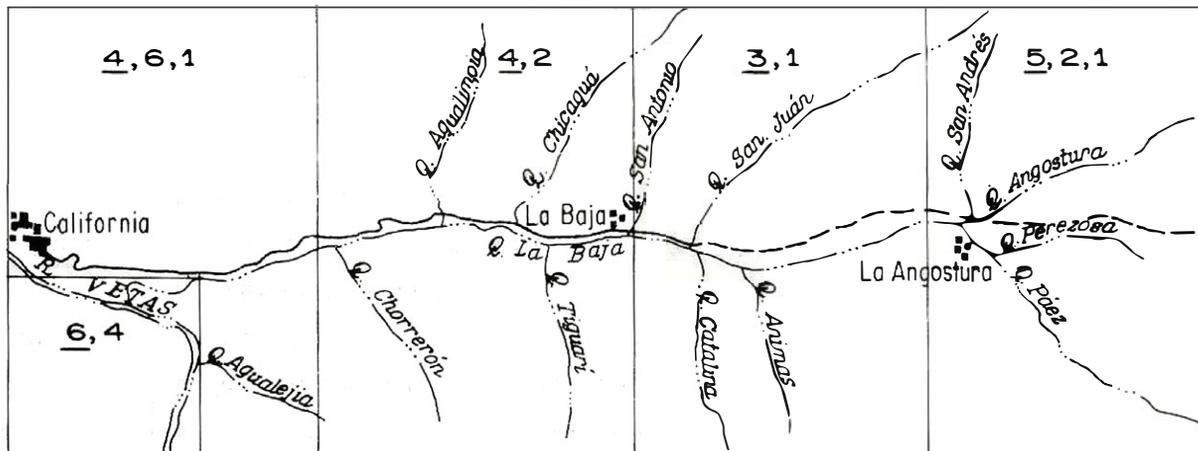
La mayoría de trabajos se limitan a seguir el filón y sus partes oxidadas ("carmín" y "caracha" según los mineros de la región). La molienda es casi tan primitiva como la minería; el mineral grueso es reducido a partículas tamaño arena, en los molinos de pisones, "Californiano" obsoletos en otras partes del mundo. Todos los sulfuros son cianurados y los residuos constituyen las colas que son amontonadas en las orillas de las quebradas. La muestra HM-1510 (colas de San Celestino) presentó el siguiente contenido metálico (en ppm) As: 2000; Ag: 70; Au: 300; Cu: 700; Pb: 7000; Sb: 500; Zn: 5000. Las minas son explotadas por particulares y dos pequeñas compañías, Minurano y Comisan trabajan en el Distrito de California. Actualmente y con ocasión del alza en los precios de oro, varias minas que habían sido abandonadas por el agotamiento del mineral fácilmente explotable, han vuelto a ser rentables y más de 20 túneles son objeto de trabajos. En el Cuadro 1 se muestran las principales minas activas.

Aspectos relacionados con el transporte, suministro de agua y mano de obra no presentan mayor complicación; sin embargo, problemas legales relacionados con los títulos de las propiedades mineras y dificultades en los procesos técnicos de tratamiento mineral, obstaculizan cualquier proyecto que intente la explotación conjunta de las minas de la región.

#### AGRADECIMIENTOS

Se expresan agradecimientos a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron durante la realización del trabajo y en la preparación del informe. Al geólogo James Evans del Servicio Geológico Americano por sus valiosas sugerencias en la realización de los trabajos de campo. El geólogo Humberto González realizó el estudio petrográfico de las secciones delgadas. El geólogo Anthony Mariano efectuó la toma de microfotografías de varias secciones delgadas.

El Laboratorio Químico del Ingeominas realizó los análisis geoquímicos de las muestras colectadas. Finalmente nuestro reconocimiento al Jefe de la Regional, Alfonso Arias por sus comentarios de gran utilidad al manuscrito y la preparación de varias fotografías.



**GEOLOGOS PARTICIPANTES**

- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 1 James Evans.    | 4 Hernando Mendoza. |
| 2 Luis Jaramillo. | 5 Alonso Otero.     |
| 3 Luis J. Mejía.  | 6 Jaime Reyes.      |

— Principales aportes

FIGURA 2. DISTRIBUCION DE LAS AREAS TRABAJADAS.

M I N A	T U N E L
San Celestino	San Celestino (túneles AF y AG)* Machuca (túnel AH)*
San Antonio	San Antonio (túnel T) Begcniá, Pie de Gallo
El Cuatro	El Cuatro (túnel C)* El Porvenir, Potosí,* San Luis,* Catalina*
San Cristobal	San Cristobal (túnel AB) Animas (túnel D)*
Mascota	La Mascota (túnel J)* Minaseca (túnel K)* Tres Aguas,* San Expedito*
Asturias Angostura	Asturias (túnel 273)* La Vencedora (túnel 261)* Las Mercedes (túnel Q)* El Tierrero (túnel 508)*
La Bodega - El Carmen	La Bodega (túnel 351)* La Paja (túnel 333)* El Matacho (túnel 299)* San Andrés
El Silencio	El Silencio (túneles O y Ñ)*
El Diamante	Diamante (túneles 430 y AP)*
Quebrada La Angostura	Vetebarro*

\* Túnel en Explotación.

ROCAS ESTRATIFICADAS

- Qal Aluviones
- Qtf Terraza y Cono de Deyección
- Qg Deposito Glaciarico

- Ksu Formación Umir
- Ksl Formación Lo Luna
- Kis Formación Simiti
- Kit Formación Tablozo
- Kip Formación Paja
- Kir Formación Rosa Blanca
- Kita Formación Tambor

- Jg Formación Girón
- Rb Formación Bocas

- pDs Formación Silgara
- pDb pDbh Neis de Bucoramango

ROCAS IGNEAS

- Jgp Jcl Jcg Jcgp

- Jgp: Granito Pescadero
- Jcl: Cuarzo Monzonita lo Corcova
- Jcg: Cuarzo Monzonita y Granito
- Jcgp: Cuarzo Monzonita a, Aplito y Porfido

- Jrt Jrd

Tonalita Tonalita y Granodiarito

- pDo Ortoneis

CONVEENCIONES

- |  |                         |  |                          |
|--|-------------------------|--|--------------------------|
|  | Contacto Definido       |  | Municipio, Corregimiento |
|  | Contacto Inferido       |  | Carretera                |
|  | Falla Definida          |  | Río, Quebrada            |
|  | Falla Inferida          |  | Laguna                   |
|  | Falla Cubierta          |  | Curva de Nivel           |
|  | Lineación Fotogeológica |  | Area Estudiada           |
|  | Estructura Anticinal    |  |                          |
|  | Rumbo y Buzamiento      |  |                          |
|  | Foliación               |  |                          |
|  | Dique                   |  |                          |
|  | Zona de Silicificación  |  |                          |

ESCALA 1:100.000

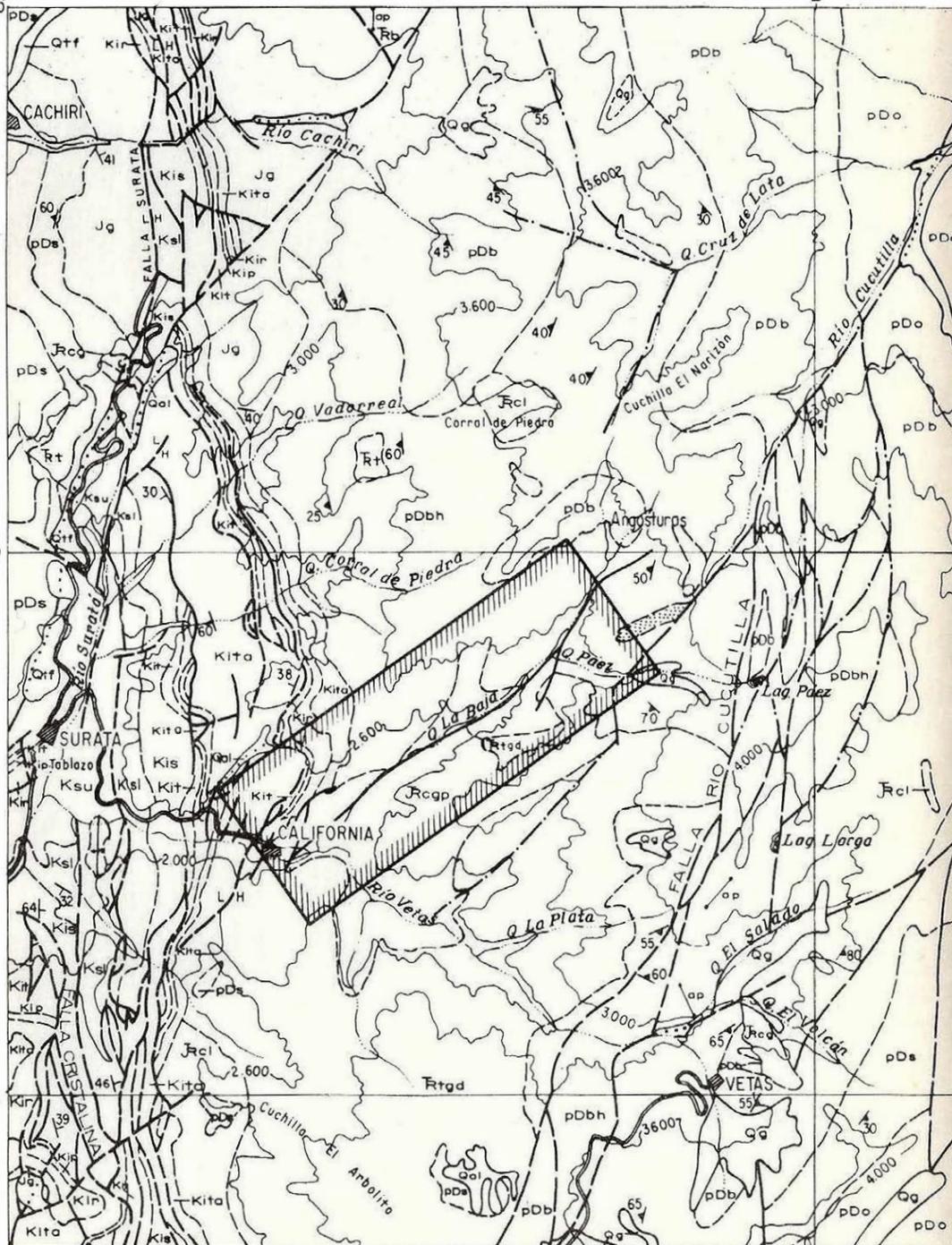


FIGURA 3 MAPA GEOLOGICO REGIONAL

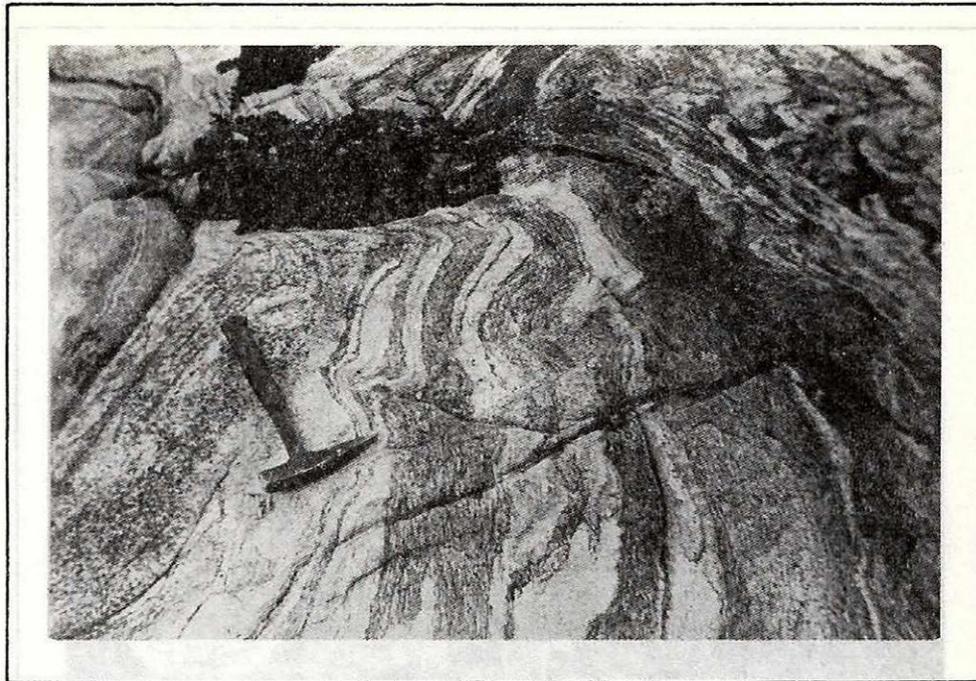
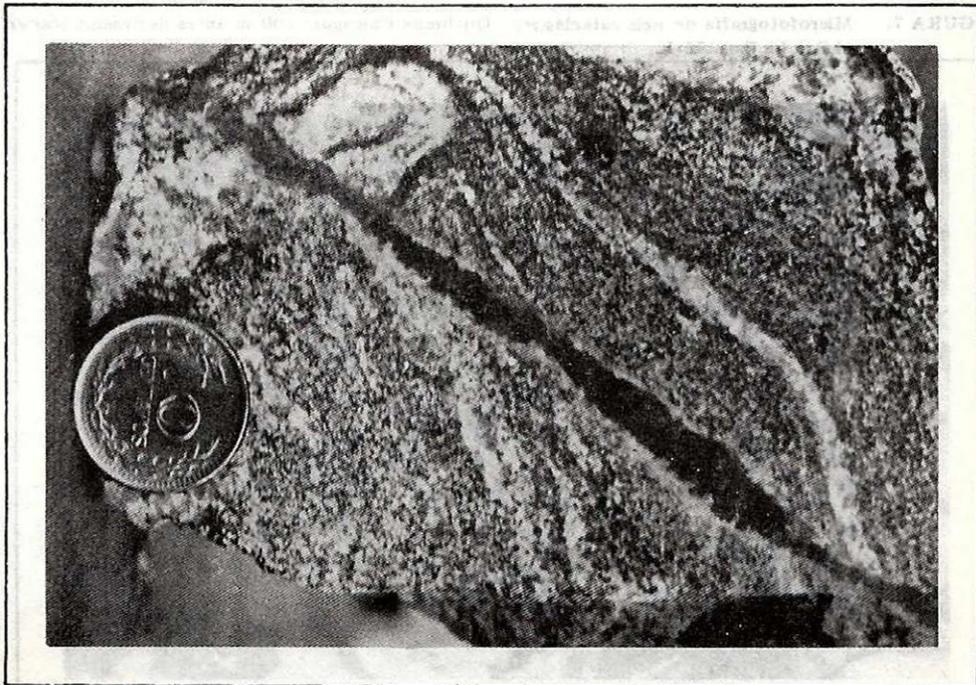


FIGURA 4. Migmatita con estructura "schlieren". Por camino a Laguna Paez, 800 m al S 45° W de Páramo de Romeral.

FIGURA 5. Migmatita cruzada por una vena de epidota. Obsérvese la textura nebulítica y plegada. Quebrada Agualimpia, 400 m al S 40° E del Alto Peña de Oro.



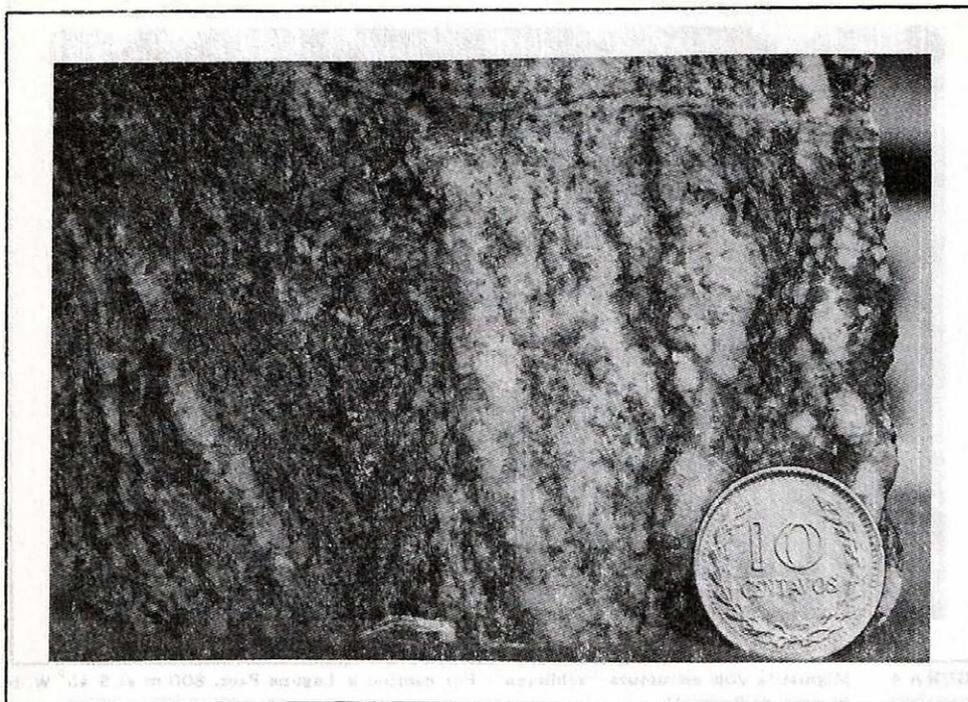
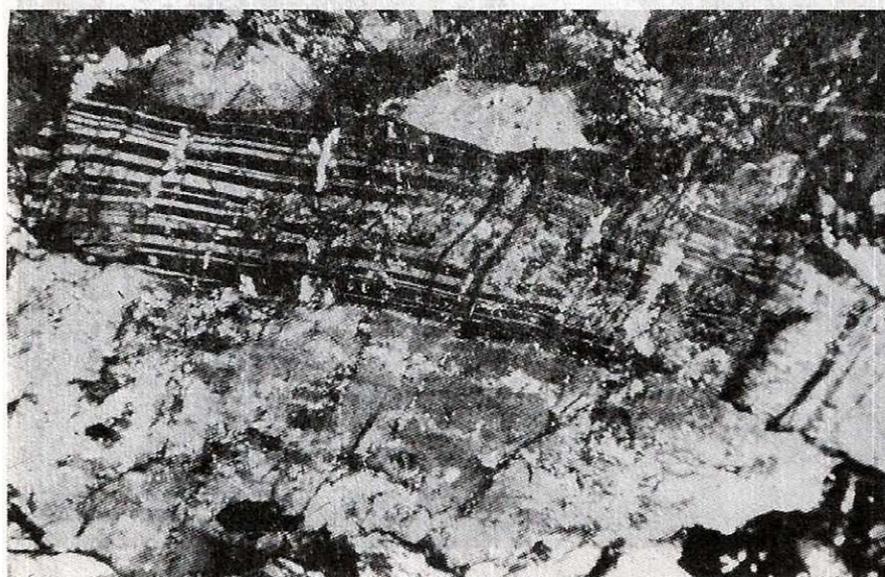


FIGURA 6. Neis granodiorítico cataclástico con estructura estromática. Río La Baja, a 100 m de Potosí, en dirección N 50° E.

FIGURA 7. Microfotografía de neis cataclástico. Quebrada Chicaguá, 100 m antes de desembocar en el Río La Baja. 75 X.



## GEOLOGIA

## ESQUEMA GEOLOGICO REGIONAL

La región Vetas-California forma parte del Macizo de Santander, constituido por un complejo de rocas metamórficas Predevónicas y rocas ígneas Mesozoicas. La situación geológica del Macizo de Santander es descrita por Ward, et al. (en imprenta). La figura 3 representa un esquema geológico regional que incluye el área del presente estudio (Ward, et al, 1970).

Rocas metamórficas Pre-Cámbricas complejamente afectadas por metamorfismo dinámico-térmico regional de alto grado incluyen para-neises, esquistos pelíticos y arenáceos, neis hornbléndico y migmatitas (figs. 4 y 5), son cartografiadas como Neis Bucaramanga.

Rocas metamórficas de grado bajo a medio: esquistos micáceos, filitas, metareniscas, cuarcitas y mármoles corresponden a la Formación Silgará, de edad Cambro-Ordoviciense.

La parte central del Macizo contiene masas de ortoneis cuya composición varía de granito a tonalita; están ampliamente distribuidas en rocas metamórficas de medio a alto grado. Cubriendo en parte al ortoneis y a la Formación Silgará ocurren rocas con bajo grado de metamorfismo, tales como argilitas, metalimolitas, filitas grafitosas, areniscas y mármol. Su edad se considera Devónico Medio y se incluyen como Formación Floresta metamorfoseada.

Varios batolitos y plutones cuya composición varía de granito a diorita fueron intruidos durante el Jura-Triásico y ocasionaron el desarrollo local de migmatitas. Con este ciclo magmático se relacionan pequeños stocks de pórfido dacítico - andesítico y diques de basalto, diabasa y dacita. Las rocas sedimentarias están limitadas a algunas zonas del Macizo de Santander.

DESCRIPCION GEOLOGICA DEL  
AREA TRABAJADA

Los diferentes tipos de rocas presentes en la región de California, pueden agruparse en tres conjuntos litológicos. El primero está constituido por rocas metamórficas de alto grado, complejamente deformadas y representan las rocas más antiguas de la zona. El

segundo conjunto agrupa los cuerpos intrusivos, los stocks y diques de roca porfírica. Conformando el tercer conjunto y localizadas al norte de California, se encuentran rocas sedimentarias del Cretáceo (Plancha 1).

## ROCAS METAMORFICAS

Afloramientos irregularmente distribuidos con neis y esquistos cuarzo-feldespático, frecuentemente son cruzados o inyectados por material granítico. Estos conjuntos rocosos o "complejos migmatíticos" presentan características similares a las descritas como Neis Bucaramanga.

*Neis Bucaramanga (pDbm)*

*Distribución.*- Los principales afloramientos con roca fresca se limitan a algunas quebradas, especialmente a lo largo de las quebradas La Baja, Páez y Chicaguá. La presencia de numerosas apófisis de roca intrusiva en zonas de roca metamórfica, dificulta la delimitación de áreas exclusivamente cubiertas por roca metamórfica.

*Descripción.*- El término "migmatita" se usará en un sentido más descriptivo que genético. Relaciones de contacto y edad permiten interpretar dos clases de rocas migmatíticas.

El primer tipo (migmatitas paleozoicas) son rocas masivas con textura xenoblástica o granoblástica; la estructura néisica está definida por la orientación subparalela de láminas de hornblenda-biotita entre bandas o lentes gruesos e irregulares de cuarzo y feldespato con máficos diseminados (fig. 6).

Estas migmatitas contienen neises bandeados a veces de apariencia cataclástica (fig.7) en los que bandas graníticas de 1 a 4 cm con plagioclasa, cuarzo, biotita y ortoclasa, alternan con bandas hasta de 2 cm ricas en biotita y en menor proporción plagioclasa y cuarzo. Localmente silimanita y plagioclasa están parcialmente sericitizadas.

Neis hornblendo - biotítico de grano medio a grueso, está constituido por plagioclasa (40-60%), hornblenda (10-26%) y en menores cantidades biotita (5-15%) y cuarzo (10-20%). Pequeños cuerpos de roca gris oscura de aspecto masivo a ligeramente néisica y asociados con el neis, pueden corresponder a anfibolitas de grano medio, con cristales de plagioclasa corroidos y sauriritizados.

Aunque gran parte de la fracción granítica de las migmatitas forma lentejones, localmente se presentan masas de neis augen, transicionales con neis lit-par-lit.

La composición de los lentejones corresponde a granodiorita o cuarzdiorita de grano medio localmente con textura cataclástica y compuesta principalmente por plagioclasa (oligoclasa cálcica-andesina), feldespato potásico (ortosa con zonas periticas), cuarzo, hornblenda alterada, biotita, clorita y epidota.

El segundo tipo de migmatita (migmatitas mesozoicas) se desarrolla alrededor de las intrusiones Jura-Triásicas. Abundante material granítico es involucrado como neis de inyección (flowing gneiss) y cristaliza en bandas concordantes, foliadas. Estas rocas de composición cuarzomonzonita-cuarzdiorita localmente muestran notoria deformación y alteración hidrotermal.

Por lo general la roca presenta textura hipidiomórfica granular con orientación de láminas anhedrales y flexionadas de biotita; los cristales euhedrales a subhedrales y plagioclasa (albita-oligoclasa) están parcialmente sericitizados; el feldespato potásico (ortoclasa) anhedral y en parte intersticial presenta ligera argilización; el cuarzo aparece en cristales anhedrales o elongados con extinción ligeramente ondulatoria. Por alteración de biotita se forman mosaicos irregulares de clorita asociados a cristales de epidota.

Las rocas metamórficas del Neis Bucaramanga son incluidas dentro de la facies de baja presión. La presencia de minerales como andalusita, silimanita, cordierita, la escasa cantidad de granate y la ausencia de distena denotan rocas de la facies cordierita anfibolita, del tipo Abukuma (Winkler, 1967 p.120). En muchos casos las rocas muestran evidencias de metamorfismo retrógrado, siendo los efectos principales la alteración de la silimanita o moscovita y sericitita, la sausrutización de la plagioclasa, y la cloritización de la biotita.

*Edad y Correlación.*- Afloramientos que se cree representan migmatitas paleozoicas, posiblemente correspondan a exposiciones con migmatitas mesozoicas. Hamilton and Myers (1967, C 23) concluyen que neises y migmatitas atribuidos por varios autores a anatexia, ampliamente pueden ser producidos por metasomatismo e inyección de plutones ascendentes.

La composición y textura de las migmatitas mesozoicas, la ausencia de capas pelíticas y el volumen de material granítico involucrado sugieren un origen relacionado con la inyección de magma.

Una edad radiométrica Rb/Sr de  $630 \pm 140$  m. a. se obtuvo en una muestra de paraneis biotítico de la Quebrada Volcán Amarillo (5 km al suroeste de Vetás). La biotita de la misma muestra dio una edad radiométrica, por el método K/Ar de  $197 \pm 7$  m. a. (Hildreth R. and Henderson W., en Ward et al -en imprenta). Esta diferencia de edad reflejaría un magmatismo Jura-Triásico, posiblemente relacionado con la intrusión de los batolitos Mesozoicos del Macizo de Santander.

#### ROCAS IGNEAS

Los intrusivos de California pueden agruparse en dos unidades petrográficamente diferentes. La unidad más antigua está constituida por una cuarzdiorita con ligeras variaciones a granodiorita y diorita. La unidad más joven comprende, granito, cuarzomonzonita y pórfidos de composición granodiorita, dacita y andesita; estas rocas muestran indicios de alteración hidrotermal.

#### *Cuarzdiorita (TrC)*

*Distribución.*- Partiendo de la población de California y siguiendo en dirección sureste se encuentran pequeñas masas de cuarzdiorita. Afloramiento aislados, como pequeñas inclusiones o techos pendientes, se localizan en las quebradas Higuera y Tiguarí, y en los alrededores de la Cuchilla Violetal. Muestras de roca fresca se presentan en afloramientos del río Vetás.

*Descripción.*- La cuarzdiorita varía de masiva a ligeramente néisica. Por lo general es holocristalina de grano medio, color moteado, con blanco de cuarzo y plagioclasa, y negro de biotita y hornblenda. Rocas de color blanco verdoso con láminas flexionadas de biotita cloritizada y estructura bandeada, corresponden a cuarzdiorita cataclástica. A veces la roca se encuentra mineralizada con sulfuros principalmente piritita, la cual se presenta en venas de cuarzo y epidota, diseminada o esporádicamente asociada con los ferromagnesianos.

Bajo el microscopio la cuarzdiorita presenta textura hipidiomórfica inequigranular; el cuarzo es anhedral, localmente con ca-

rácter intersticial, fracturado y con extinción ondulatoria débil. La plagioclasa se presenta en cristales euhedrales a subhedrales, ligeramente empolvados y con alteración parcial a sericita; la composición es andesina sódica ( $An^{30}$ ), con maclas según albíta y albita-carlsbad. El feldespato potásico, cuando está presente corresponde a ortosa anhedral y es de carácter intersticial. La hornblenda es euhedral a subhedral con algunos cristales maclados según (1,0,0) y con inclusiones de feldespato, cuarzo y apatito. La biotita se presenta en láminas subhedrales a anhedrales algo flexionadas y parcialmente cloritizadas. Como minerales accesorios figuran: esfena, apatito, magnetita y zircón. Los minerales opacos son: magnetita, ilmenita alterada a leucóxeno, pirita y trazas de calcopirita.

#### *Alasquita (Jra)*

Rocas ígneas leucocráticas de grano fino a medio y de composición granito-cuarzomonzonita se encuentran ampliamente distribuidas en el área de California. Localmente se presenta incremento en el contenido de biotita y la composición corresponde a granodiorita. Debido al predominio de roca leucocrática es posible utilizar el término "alasitas", mencionado por Peterson (1961) para rocas con índice de color  $I < 5$  y plagioclasa de composición entre  $An^0$  y  $An^{35}$ ; y que por lo tanto cubre el campo de granito-cuarzomonzonita.

*Distribución.*- Las rocas leucocráticas aparecen como pequeños stocks, apófisis y rocas de dique. La alasquita de California se caracteriza por presentar alteración hidrotermal, principalmente silicificación y piritización, y estar cruzada por numerosas venillas de cuarzo. En los alrededores del sitio de La Baja se encuentra un cuerpo de alasquita, localmente cortado por diques aplíticos y de cuarzomonzonita de grano fino. Afloramientos de roca relativamente fresca se presentan en el nacimiento de la quebrada Agualimpia.

*Descripción.*- Macroscópicamente la alasquita es holocristalina de grano fino a medio, color blanco crema algo manchado y moteado por óxidos de hierro; comúnmente está compuesta por plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, muscovita y biotita.

Generalmente se presenta fracturada y cruzada por numerosas venillas de cuarzo; limonita y hematita ocurren en microfrac-

turas y como pátina de color ocre en la mayor parte de la roca. Los escasos ferro-magnesianos están lixiviados o reemplazados por láminas de muscovita-sericita. Varios diques de roca gris rosada de grano fino con textura aplítica y que corresponde a cuarzomonzonita biotítica (tipo Los Curos) cruzan el granito leucocrático. Diques pegmatíticos (Peg) se localizan en los nacimientos de las quebradas Chicaguá y San Juan.

En sección delgada la alasquita presenta textura hipidiomórfica granular a alotriomórfica. El cuarzo es anhedral, inequigranular, no deformado, localmente como intercrecimientos vermiculares en plagioclasa (mirmequitas). El feldespato potásico (ortosa, a veces microclina) está ligeramente empolvado por productos arcillosos y manchado por óxidos de hierro, generalmente no maclado y ligeramente peritítico; excluyendo algunos cristales poiquilíticos que son euhedrales, los demás se encuentran como cristales anhedrales a subhedrales. La plagioclasa es albíta-oligoclasa en cristales euhedrales, parcialmente alterada a sericita, gran parte no maclada, aunque no es raro el maclamiento según albíta y albita-carlsbad. Láminas euhedrales de muscovita en parte formadas a partir de biotita, presentan manchas de óxidos de hierro. Como producto de alteración de la plagioclasa hay láminas finas y agregados de sericita. La biotita se presenta parcialmente cloritizada. Los minerales accesorios son escasos y los opacos ocurren como manchas de hematita-limonita.

A lo largo de la quebrada Chicaguá la roca es de color rosado, de grano medio, masiva a foliada y de composición cuarzomonzonita. En sección delgada se diferencia de la roca típica por: la plagioclasa es algo más cálcica; el feldespato potásico débilmente peritítico aparece caolinizado y la escasa biotita está ligeramente cloritizada o reemplazada por óxidos de hierro, epidota y algo de calcita. La pirita relativamente abundante se encuentra disseminada y en fracturas; también hay trazas de calcopirita.

Los contactos entre los cuerpos intrusivos y las rocas metamórficas encajantes son aproximados y en sitios donde las rocas se mezclan abundantemente, se consideran arbitrarios.

Zonas de contacto difuso son comunes cuando se mezclan masas de alasquita y cuarzodiorita; allí el intrusivo leucocrático es

mirmequítico, la biotita mayor del 3%, se encuentra orientada en direcciones que pueden coincidir con superficies estriadas; los cristales de plagioclasa presentan bordes de exsolución y el cuarzo ocurre en cristales anhedrales alargados. La abundancia de biotita, posiblemente producto de reacción de hornblenda con un magma ácido y el alto contenido de apatito en la cuarzodiorita, sugieren que ésta roca fue afectada por el intrusivo leucocrático.

El origen magmático de los intrusivos de California es evidente por la textura, composición, pequeñas inclusiones de roca metamórfica y por cortar o mezclarse con las rocas metamórficas. Aunque en granitos muscovíticos el granate (almandino) es un accesorio común, en la zona puede ser resultado de contaminación con material arcillo-calcáreo de las rocas metamórficas adyacentes. La presencia de rocas completamente epidotizadas (Quebrada Chicaguá) y la formación de mirmequita, pertita y sustitución de biotita por muscovita, sugieren alteración deutérica durante la etapa post-magmática. La cuarzodiorita de California está relacionada con la cuarzodiorita del plutón de Páramo Rico, un cuerpo alargado en dirección aproximada norte-sur y con 50 km<sup>2</sup> de extensión. Ward, et al (en imprenta) al referirse al área de California, menciona cuarzomonzonita, aplita y pórfido como un stock compuesto, relacionado posiblemente con la cuarzomonzonita de La Corcova.

*Edad y Correlación.*- La edad de los intrusivos de California no se conoce directamente. Puesto que son similares a intrusivos datados en otros lugares del Macizo de Santander, se asume son Mesozoicos. Varios afloramientos de cuarzodiorita son cortados por intrusivo leucocrático o se encuentran como techos pendientes en la alaska (Quebrada Tiguarí, Cuchilla Violetal).

Marvin, R. and Mehnert, H. (en Ward, et al -en imprenta) obtuvieron edades radiométricas entre  $172 \pm 6$  y  $193 \pm 7$  m.a., para los grandes batolitos del Macizo de Santander y dedujeron que la mayoría fueron emplazados a finales del Triásico o comienzos del Jurásico. Similitudes de composición y edad sugieren un probable origen comagmático para todos estos cuerpos.

#### *Pórfidos (dp)*

Las rocas porfiríticas de California se presentan como diques, silos y pequeños

cuerpos de forma irregular. El término "pórfido" se utilizará en el sentido de Peterson (1961) para designar rocas hipoabisales con más del 10% de fenocristales en una matriz fanerítica holocristalina.

*Distribución.*- Un pequeño stock de pórfido granodiorítico aflora a lo largo de la quebrada La Baja, desde la quebrada Chicaguá hasta el sitio de La Baja. Desde aquí hasta la quebrada Páez se encuentran masas de roca porfirítica, intensamente alterada.

A la salida de California y continuando por el camino de Vetas, se encuentran diques y cuerpos irregulares de pórfido de composición dacita-andesita. Diques y pequeños apófisis de este pórfido se presentan en las quebradas Chorrerón, Tiguarí y Catalina. En el nacimiento de la quebrada Higuera un silo de pórfido dacítico se encuentra cruzando rocas del Cretáceo.

*Descripción.*- El área de California muestra zonas donde la presencia de roca porfirítica llama la atención. Ligeras variaciones en composición y textura no permiten determinar si estas masas porfiríticas corresponden a la facies marginal de los intrusivos Juratriásicos, o si representan cuerpos de diferente generación, o por el contrario, constituyen apófisis de una misma intrusión. Stringham B. (en Titley and Hicks, 1966 p. 37) demuestra que no hay suficientes evidencias microscópicas para distinguir rocas intrusivas con textura afanítica de rocas extrusivas. Por conveniencia, las rocas porfiríticas se describen conjuntamente y se agrupan en dos stocks.

El primer cuerpo (stock de La Baja) se extiende en dirección noreste y corresponde a un pórfido de composición granodiorítica (fig. 8) con fenocristales de feldespato hasta de 2 cm de largo y cristales más pequeños de hornblenda y biotita en una matriz granular fina de color gris, compuesta por cuarzo y feldespato con ligera alteración a sericita.

En sección delgada (fig. 9) se observan fenocristales de tamaño variable de plagioclasa euhedral, y subhedral zonada y macclada según albita y albita-carlsbad. La composición varía de oligoclasa cálcica a andesina. Cristales anhedrales de feldespato potásico (ortoclasa) forman parte de la matriz; esporádicamente aparecen fenocristales hasta de 7,5 x 5 cm. La hornblenda se presenta como fenocristales euhedrales a subhedrales algo fracturados y cloritizados; también hay láminas subhedrales a anhedrales de biotita

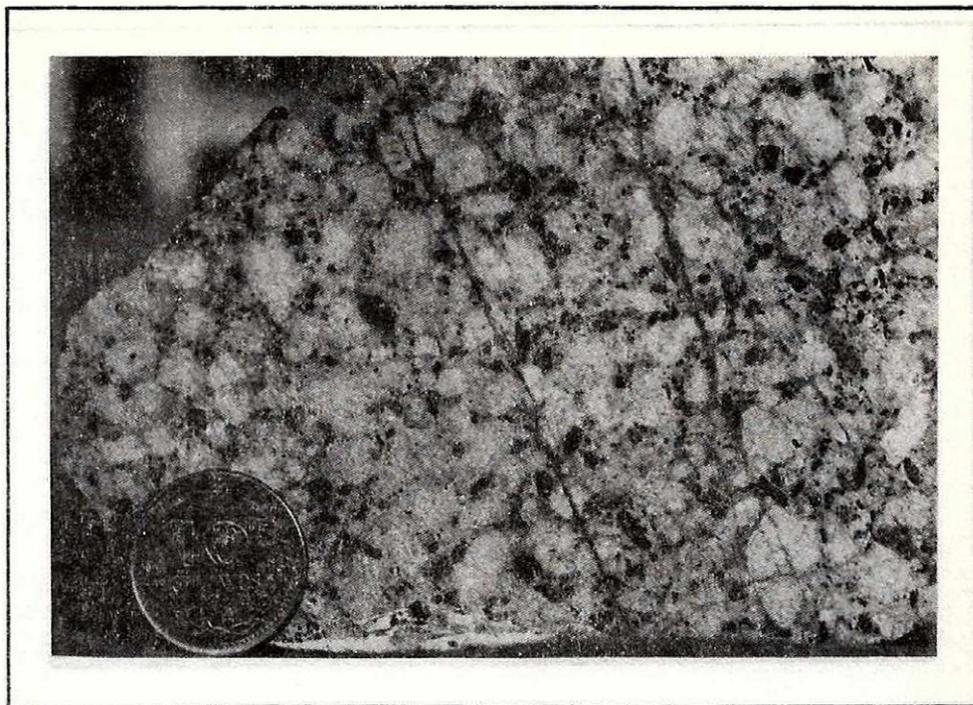
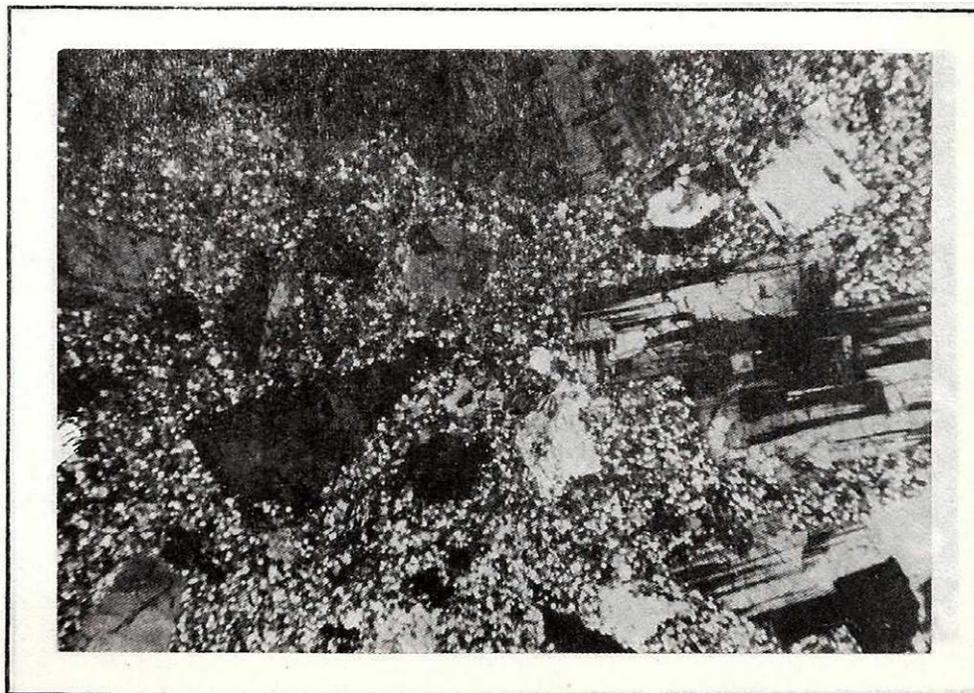


FIGURA 8. Pórfido granodiorítico. Río La Baja, 350 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Tiguarí.

FIGURA 9. Microfotografía del pórfido granodiorítico. 15 X.



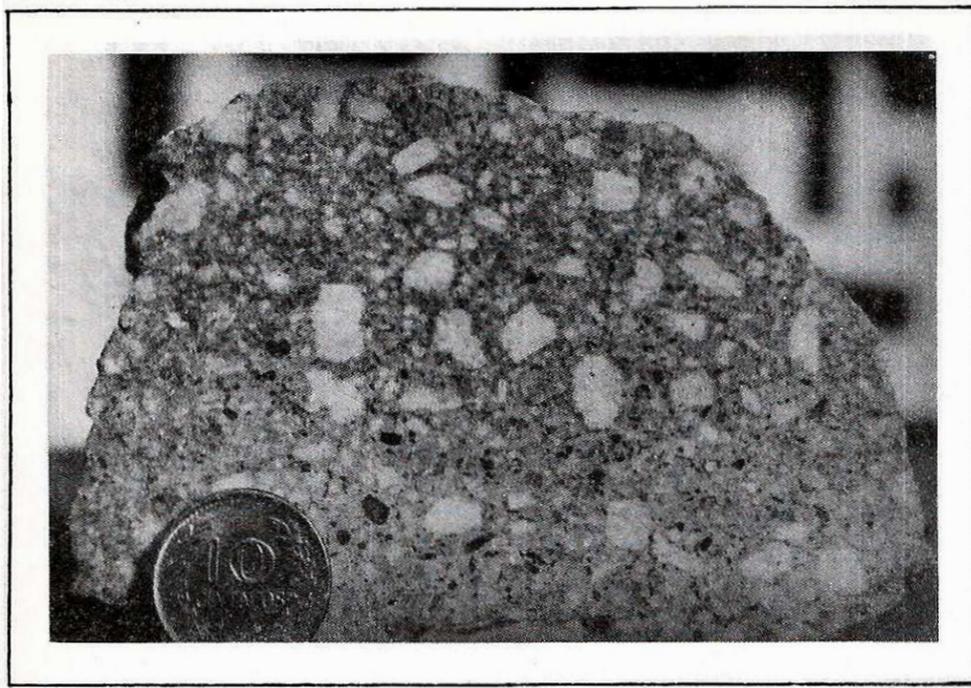


FIGURA 10. Pórfido dacítico. Nacimiento de la quebrada La Higuera.

FIGURA 11. Microfotografía del pórfido dacítico. 15 X.



LOCALIDAD	EL VOLCAN	LA PLATA	Q. CHORRERON	SAN CELESTINO	Q. HIGUERA	Q. AGUALEJIA
No. LABORATORIO	71170	74264	73217	72512	72698	72661
Fe%	0,70	2,00	1,50	1,50	1,50	2,00
Mg%	0,30	0,50	0,20	0,20	1,50	0,15
Ca %	0,30	0,70	0,70	0,50	0,70	0,05
Ti %	0,10	0,20	0,15	0,30	0,30	0,20
Mn (ppm)	100	1000	500	300	700	150
Ag (ppm)	—	2	—	—	—	0,50
As (ppm)	—	—	—	—	—	—
Au (ppm)*	—	—	—	—	—	—
Mo (ppm)	L 5	5	—	—	—	7
Cu (ppm)	15	10	50	200	70	300
Pb (ppm)	L 10	70	15	10	L 10	20
Sb (ppm)	—	—	—	—	—	—
Zn (ppm)	—	L 200	—	—	—	—

\* Análisis por Absorción Atómica

L = menor de

CUADRO No. 2

ANALISIS ESPECTROGRAFICO DE 6 MUESTRAS DE PORFIDO.

parcialmente cloritizada. Esfena, apatito y zircón son los minerales accesorios comunes. Como opaco se presenta magnetita finogranular dispersa.

Un segundo cuerpo (stock del camino a Vetás) muestra una dirección noroeste y presenta roca ígnea masiva, holocristalina porfirítica, con fenocristales de tamaño variable de feldespato alterado, cuarzo y biotita en una matriz afanítica de color gris, localmente cruzada por venas de calcita y epidota secundarias (fig. 10).

Mineralógicamente este pórfido se diferencia del anterior por presentar más porcentaje de matriz afanítica, lo que permite un mayor contraste entre los fenocristales y la matriz; los fenocristales bipiramidales de cuarzo son más frecuentes y localmente muestra textura de flujo. La composición de la roca es dacítica con ligeras variaciones a traquita y andesita. Fuera del área en estudio y en afloramientos más o menos continuos desde la quebrada Móngora a la quebrada La Plata, se observa un incremento en los fenocristales de cuarzo y ortosa.

El análisis microscópico (fig. 11) demuestra la presencia de matriz afanítica fino-granular a microcristalina equigranular, ligeramente empolvada por productos arcillosos. Los fenocristales están constituidos por cuarzo (0-10%) euhedral a subhedral con un máximo de 0,5 cm de longitud, es incoloro, no deformado, algunos cristales con delgada corona de reacción en el contacto con la matriz. La plagioclasa (15-25%) varía de oligoclasa sódica a andesina sódica y se presenta en cristales euhedral a subhedral hasta de 1 cm en su dimensión mayor, usualmente zonada, con restos de macla según albita o carlsbad y con reemplazamiento parcial por sericita y calcita. La biotita se presenta en láminas subhedral a anhedral con opacos asociados. Clorita y calcita secundaria se encuentran como cristales dispersos o reemplazando ferromagnesianos y plagioclasa. Como accesorios figuran apatito, esfena y zircón. Los opacos son magnetita-ilmenita con manchas de hematita-limonita; también hay trazas de pirita.

Los contactos entre las diferentes rocas y los cuerpos de pórfidos, son un tanto arbitrarios debido a la falta de afloramientos y especialmente a la alteración hidrotermal y consecuente meteorización que han enmascarado el carácter original de la roca.

Exceptuando los afloramientos de la quebrada La Venta, el pórfido del stock del camino a Vetás se presenta silicificado y cruzado por numerosas venillas de cuarzo y por lo tanto su delimitación es apenas aproximada. Una delgada aureola de 50-80 cm de roca con aspecto pizarroso se observa en el contacto del pórfido dacítico con los sedimentos Cretáceos.

La distribución irregular de los afloramientos con roca porfirítica, sugiere la presencia de intrusivos hipoabisales emplazados como pequeños stocks y diques. Su estrecha asociación con los cuerpos intrusivos demuestra que provienen de los mismos focos magmáticos.

El emplazamiento del stock de La Baja pudo estar controlado por una posible rama de la falla de Cucutilla. Filones como los de San Celestino, Pie de Callo, El Cuatro y La Mascota presentan afloramientos relacionados con este pórfido. Estudios en depósitos de pórfidos cupríferos han demostrado que, aquellos distritos con fuerte control estructural tienden a incluir stocks pronunciadamente elongados (Lowell and Guilbert, 1973, p. 398).

En la población de Vetás, la mina El Volcán, una de las mejores minas de oro de la región, se encuentra en los bordes de un "plug" de pórfido granodiorítico. Los análisis espectrográfico (cuadro 2) y petrográfico de los diferentes pórfidos, demuestran que el contenido de elementos metálicos y la composición mineralógica son bastantes similares.

*Edad y Correlación.*- La presencia de roca porfirítica cruzando rocas sedimentarias del Cretáceo, demuestra que el pórfido dacítico y posiblemente la mayoría de cuerpos porfiríticos, son de edad post-Cretáceo Inferior, y pueden ser correlacionados con los pórfidos del área de Ocaña cuya datación radiométrica es de  $127 \pm 3$  m.a. correspondientes al Cretáceo Inferior. Ward, et al (en imprenta).

En el estudio realizado por Nippon Mining Company (1967) se asigna una edad de finales del Cretáceo o comienzos del Terciario, a los granitos y pórfidos de esta zona.

## ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias de edad Cretácea se presentan al norte de la población de California. Esencialmente se agrupan en dos unidades litológicas (formaciones Tambor y Rosablanca) cuyas capas siguen una dirección nor-noroeste y una inclinación promedio de 35° oeste.

Rocas sedimentarias del Jurásico no se conocen en la zona, aunque es posible que la parte basal (7-10 m) de una secuencia de areniscas asignadas al Cretáceo Inferior, sea más antigua. Como información se hace una descripción somera de las formaciones sedimentarias.

*Formación Tambor (kita)*

Los principales afloramientos con rocas de esta formación se sitúan en los nacimientos de las quebradas Higuera y Agualimpia. Remanentes de areniscas glauconíticas y ortocuarzitas se presentan en la quebrada Chorrerón.

La base de la Formación Tambor está compuesta por delgadas capas de limolitas micáceas, de color pardo a rojizo alternando con bancos de areniscas de grano medio. Suprayaciendo hay areniscas feldespato-micáceas de grano medio a grueso con capas y lentejones conglomeráticos cuyos guijarros subangulares a subredondeados llegan a medir hasta 6 cm de largo. Hacia el tope predominan shales con intercalaciones de ortocuarzitas.

La Formación Tambor se presenta en contacto fallado o en inconformidad sobre rocas intrusivas y metamórficas. Su posición, por debajo de la Formación Rosablanca permite asignarle una edad Valanginiano ? -Hauteriviano ?, Julivert, M. (1968, p. 518).

*Formación Rosablanca (Kir)*

Buenos afloramientos de caliza se localizan en el nacimiento de la quebrada La Venta. Se encuentra constituida por dos niveles calcáreos separados por 8 a 10 m de shales gris. Aunque ambos niveles presentan bancos macizos de calizas, el superior contiene capas de margas localmente laminadas y cruzadas por venas de calcita. Hacia el tope aumenta el contenido detrítico y se presentan calizas con capas de arenisca calcárea de color verdoso, grano fino y con glauconita.

La Formación Rosablanca descansa concordantemente sobre la Formación Tambor.

Varias capas de caliza presentan microfósiles y restos de Ostreas. El análisis peleoontológico de dos muestras indicó restos orgánicos indeterminados (recristalizados). A la Formación Rosablanca se le ha atribuido una edad Hauteriviano-Barremiano, Julivert, M. (1968, p. 486).

*Depósitos Cuaternarios*

Los depósitos glaciales presentes en algunas laderas, siguen la dirección de la pendiente y se localizan en los alrededores de la Laguna Páez. Están constituidos por bloques subangulares a subredondeados de diferentes rocas englobados en partículas de tamaño limo y arena.

Depósitos de aluviones y terrazas se presentan en valles de algunas quebradas incluyendo La Baja. Los aluviones y bancos de grava gruesa de la quebrada La Baja y del río Vetas son auríferos; actualmente la minería de placeres se limita a trabajos rudimentarios y esporádicos.

## ESTRUCTURAS

Refiriéndose al área de California, Ward, et al (en imprenta) describe una orientación regional hacia el norte con inclinación al oeste para la foliación del Neis Bucaramanga. También establece que el emplazamiento de los cuerpos intrusivos fue según una dirección nor-noroeste.

*Pliegues*

Localmente se observan pequeños pliegues en algunas capas de arenisca. Al noroeste de California se presenta una estructura sinclinal, cuyo eje sigue una dirección aproximada N-S. Esta estructura podría estar relacionada con el sobrecorrimiento de las capas de la Formación Tambor sobre la Formación Rosablanca.

*Diaclasas*

El diagrama rosa de 375 diaclasas (fig. 12) demuestra el desarrollo preferencial de dos sistemas de diaclasas. El sistema predominante con un 25 % de las diaclasas presenta una orientación entre N40° W y N70° W. Solamente un 12 % de las diaclasas sigue una dirección N80° W a E - W.

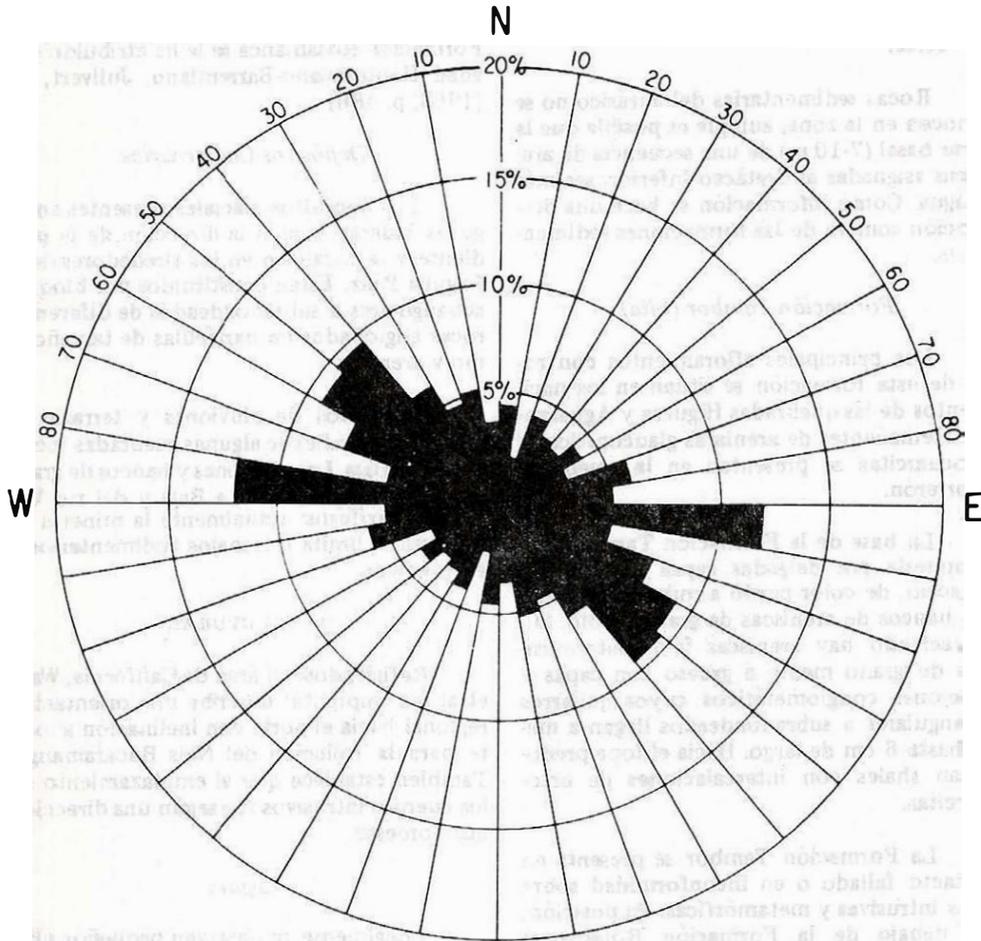


FIGURA 12. DIAGRAMA ROSA DE 375 DIAS EN EL AREA DE CALIFORNIA.

### *Fallas*

Gran parte de los lineamientos fotogeológicos están orientados nor-noreste y probablemente algunos corresponden a fallas. Los cursos de las quebradas Chicaguá, San Juan y La Baja corresponden a algunos de estos lineamientos.

La presencia de una falla a lo largo de la quebrada La Baja como una posible rama de la Falla de Cucutilla ha sido sugerida por Ward, et al (1971). La localización de las estructuras mineralizadas a lo largo de la quebrada La Baja, sugiere la presencia de un cinturón estructural con dirección noreste. En la región se ha comprobado la presencia de fallas con movimiento pre y post-Cretáceo (Julivert y Téllez, 1963).

Texturas cataclásticas acompañadas por cambios en orientación e inclinación de las diaclasas a lo largo de la quebrada Chicaguá, sugieren fallamiento. La intensa alteración y brechación del filón de Pie de Gallo evidencian una estructura fallada en dirección de la quebrada San Juan.

Mediante una falla de rumbo las formaciones Tambor y Rosablanca se ponen en contacto con rocas intrusivas y metamórficas. Esta falla aparece desplazada por fallas menores con dirección norte.

Una falla inversa de bajo ángulo que sigue la dirección de las capas, coloca a la Formación Tambor sobre la Formación Rosablanca.

Hamilton and Myers, (1967, C 24) mencionan grandes fallas de cabalgamiento como fallas casi paralelas a la estratificación de las rocas. Unos 4 km al noroeste de California se encuentra la Falla de Suratá con un desplazamiento vertical entre 1.000 y 2.000 m (Ward, et al en imprenta).

Zonas de falla de alto ángulo con superficies estriadas y fragmentos brechados suelen corresponder a filones de cuarzo mineralizados. La comparación de las figuras 12 y 15 demuestra que estas fallas están relacionadas con los dos sistemas principales de diaclasas.

### *Zonas de Brecha (Br)*

Afloramientos irregulares distribuidos a lo largo de la quebrada Chorrerón y que en conjunto ocupan alrededor de 1 km<sup>2</sup> presen-

tan rocas ígneas y sedimentarias con alteración hidrotermal y aspecto brechoide. Aunque se ha delimitado una zona aproximadamente circular, el tamaño de los cuerpos de brecha va desde pequeños diques a masas irregulares de varios metros.

Los remanentes de roca sedimentaria contienen areniscas cuarzo-ferruginosas; la matriz está constituida por material amorfo pardo rojizo englobando fragmentos subangulares y subredondeados de cuarzo fracturado. Agregados y láminas de sericita manchadas por óxidos de hierro, rellenan zonas de fractura y reemplazan algunos cristales poco deformados, posiblemente de feldespato.

Roca ígnea de composición granodiorita se encuentra en el nacimiento de la quebrada Chorrerón. Esta roca con deformación cataclástica y alteración deutérica presenta venas de epidota y ortoclasa dentro de cuarzo y plagioclasa; el cuarzo es anhedral, fracturado y en intercrecimiento con ortoclasa; también contiene cristales euhedrales de hornblenda alterada, clorita y óxidos de hierro.

Pórfidos dacíticos localmente con textura clástica presentan una matriz micro a criptocristalina de color gris, compuesta por material silíceo amorfo que engloba fenocristales de cuarzo subredondeado y plagioclasa subhedral provenientes de rocas graníticas. Cristales más pequeños de biotita están reemplazados por láminas ligeramente flexionadas de mica blanca, a su vez parcialmente reemplazada por pirita-calcopirita.

Varios afloramientos presentan roca masiva con estructura brechoide y granos de pirita diseminada (fig. 13). En una matriz granular pardo amarillenta, constituida por feldespato alterado y cuarzo manchado por óxidos de hierro, están englobados fragmentos subangulares a subredondeados hasta de 3x2 cm de rocas hipoabisales porfiríticas, rocas ígneas y roca sedimentaria clástica con matriz ferruginosa (fig. 14). También contiene fragmentos de cuarzo subangular de forma y tamaño variable y cristales idiomórficos de feldespato potásico algo pertítico y con ligera alteración a productos arcillosos.

Bryant and Metz (en Titley and Hicks, 1971, p. 196-199) diferencian dos tipos de brecha intrusiva: a) intrusión breccia y b) intrusiva beccia. El primer tipo corresponde a las denominadas brechas de contacto. El

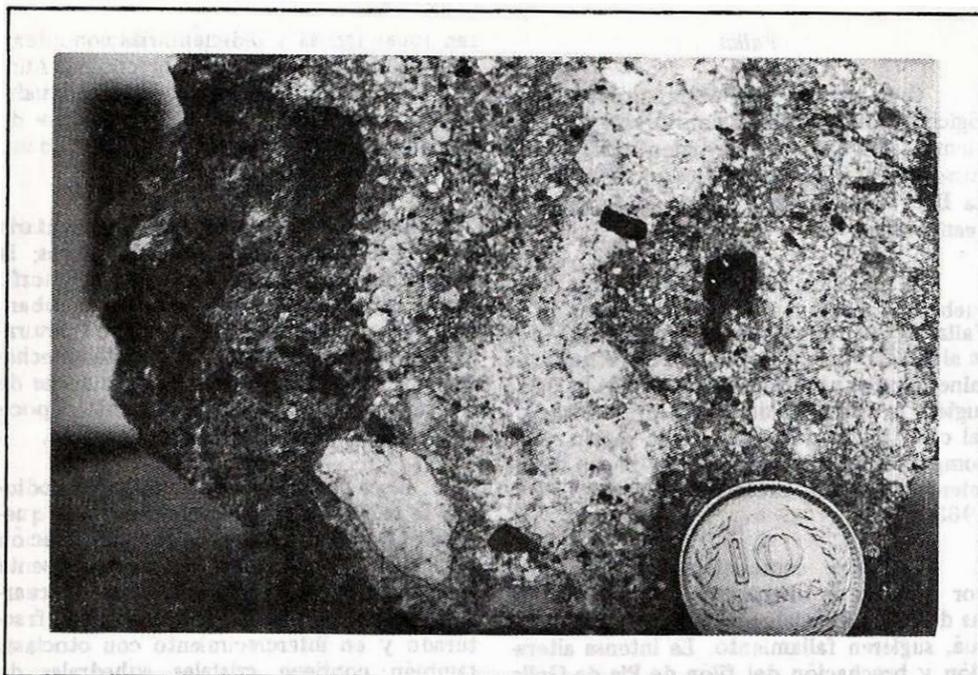
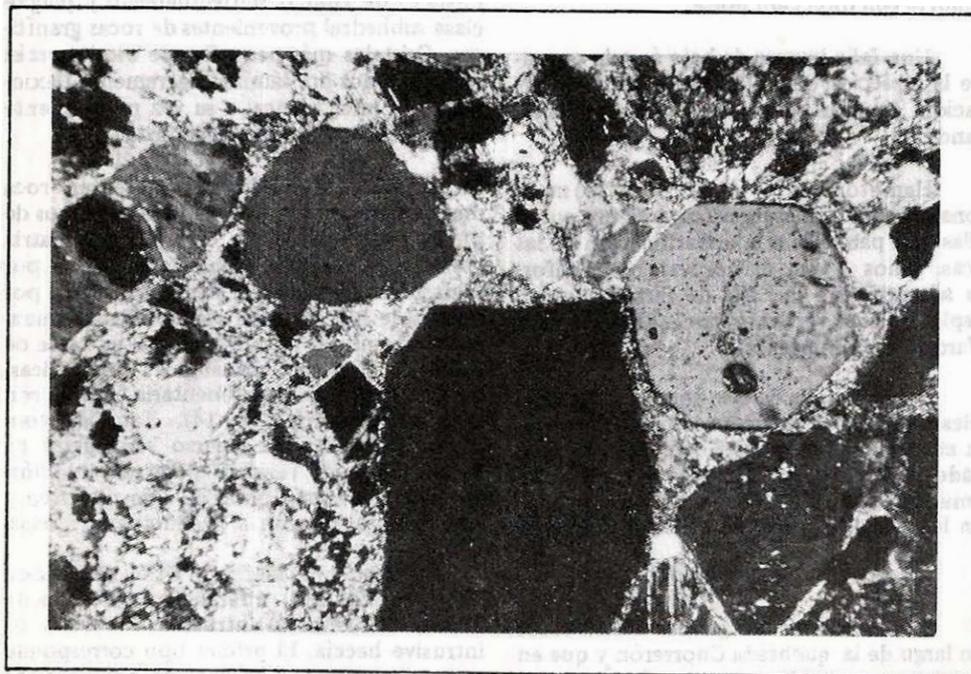


FIGURA 13. Brecha. Fragmentos subangulares y subredondeados de cuarzodiorita, pórfido, arenisca, cuarzo y feldespato en matriz microcristalina con material arcilloso recristalizado. Quebrada Chorreron, 1 km antes de desembocar en el Río La Baja.

FIGURA 14. Microfotografía de la brecha anterior. 75 X.



nombre de "intrusive breccia" implica matriz sin material ígneo, y fragmentos transportados desde pocos centímetros a cientos de metros, hacia las formaciones superiores de la columna estratigráfica. Algunas de las características mencionadas por Bryant and Metz, podrían sugerir la presencia de una "intrusive breccia" en la quebrada Chorre-rón.

## MINERALIZACION

### NATURALEZA GENERAL DE LA MINERALIZACION

El Distrito Minero de California se caracteriza por presentar notable alteración, usualmente acompañada de mineralización.

El principal sistema de mineralización presenta una forma alargada en dirección noreste y está constituido por una serie de filones escalonados que se extienden por cerca de 3 km desde La Baja (Filón de San Celestino) hasta la localidad de La Alta. Los mejores tenores de mineral suelen corresponder a filones de cuarzo y zonas de oxidación adyacentes, sitios que son trabajados por medio de túneles que siguen la dirección del filón.

### CONTROLES MINERALIZANTES

Un modelo estructural primario aparentemente controló el emplazamiento de los cuerpos intrusivos en el Macizo de Santander. Durante la mineralización el principal control estructural pudo estar relacionado con fallas de alto ángulo, estrechamente asociadas con sistemas de diaclasas. Estos sistemas sirvieron como canales de conducción o como medios de diseminación para la depositación del contenido metálico de las soluciones mineralizantes.

Una estrecha relación pórfido-mineralización puede sugerirse en base a: 1) Los principales filones de California se localizan en la dirección del stock de pórfido granodiorítico de La Baja. 2) Zonas de intensa alteración hidrotermal son frecuentes en los alrededores de pequeñas masas de roca porfírica. 3) Tanto el pórfido de California como el de la localidad de Vetas constituyen la principal roca encajante de varios filones mineralizados.

## ESTRUCTURAS MINERALIZADAS FILONES

Las principales estructuras mineralizadas parecen localizarse en zonas donde esfuerzos diferenciales han sometido las rocas a intenso diaclasamiento y cizallamiento.

El diagrama rosa de 44 filones (fig. 15) demuestra una disposición según dos direcciones preferenciales. Más del 50 % de los filones se orienta en el rango N30°W-N60°W, mientras que un 20% lo hace entre N70°W y E-W.

La disposición escalonada y casi paralela de los filones de La Baja sugiere relación con zonas de cizallamiento. Filones irregulares y curvos demuestran dilatación tensional y constituyen zonas de baja presión y bajo potencial químico, favorables para la depositación (Boyle, 1969).

En el área de California es posible reconocer 4 tipos de filones o venas de cuarzo:

1. Venas de cuarzo blanco de grano fino a medio, generalmente no contienen sulfuros y se presentan en todo tipo de roca. Diques de cuarzo lechoso con espesores entre 1 y 2 m pueden estar cruzados por venas y venillas de cuarzo gris con sulfuros.
2. Venillas y venas de cuarzo blanco a gris claro con pirita granular y algunos valores de oro, ocupan grietas y cruzan la roca en diferentes direcciones (masas en estoverca); aparentemente están relacionadas con sistemas de diaclasas. Usualmente son venas de 1 a 5 cm de color gris blanco, (fig. 16) con cuarzo anhedral que a veces forma mosaicos entre agregados de sericita. El feldspato es anhedral a subhedral fracturado y parcialmente sericitizado. Cuando la roca encajante es cruzada por venas de cuarzo con pirita, presenta notoria alteración, cambia a un color blanco grisoso y esencialmente se compone de cuarzo anhedral (80%) con extinción ondulante y plagioclasa (10%) en cristales anhedrales sericitizados. La pirita en cristales subhedrales a anhedrales se limita a las venillas y en menor proporción como diseminación en la roca.

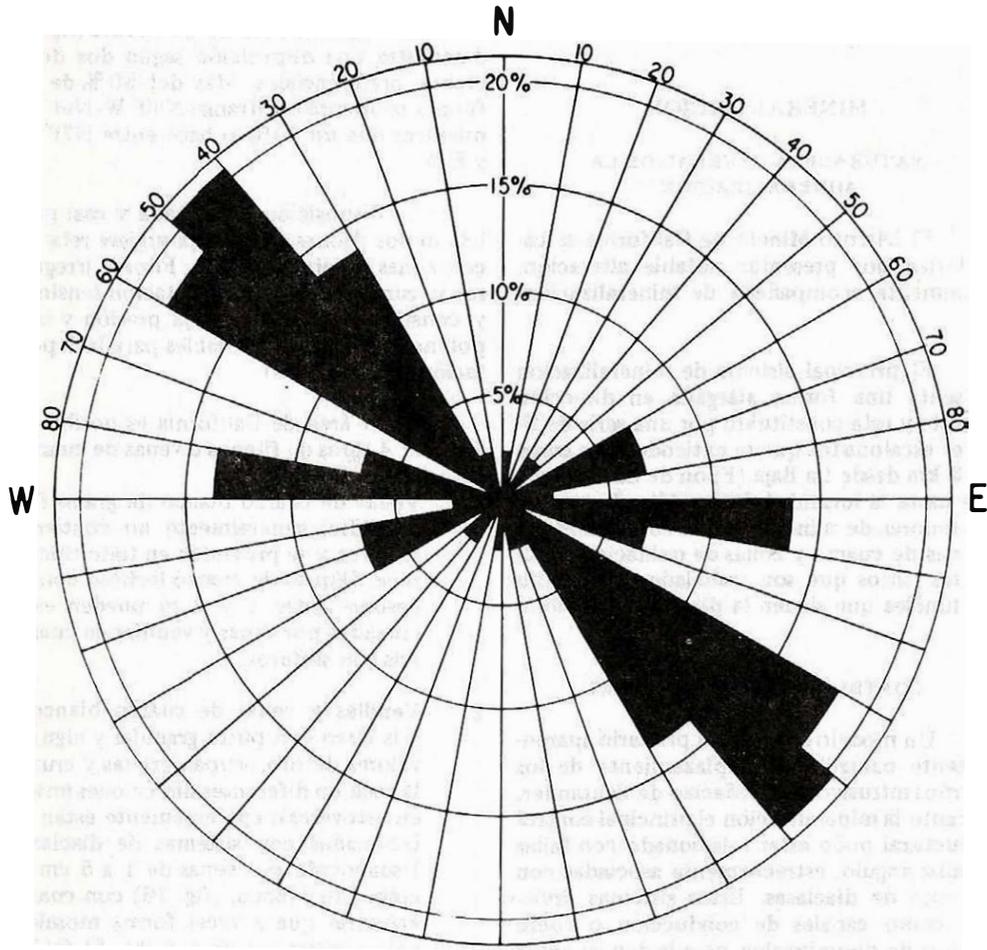


FIGURA 15. DIAGRAMA ROSA DE 44 FILONES EN EL AREA DE CALIFORNIA.

3. Venas de cuarzo-feldespatos con textura aplítica presentan forma y espesor irregulares y suelen ramificarse en la roca encajante. Localmente presentan concentraciones de sulfuros en lentejones hasta de 50 cm de espesor. Este tipo de filón con poco oro libre muestra zonas de intensa oxidación que suelen llamar la atención. Debido a la lixiviación de los componentes del filón y de la roca encajante, se originan masas de cuarzo y limonita con poros de forma celular. Estos filones suelen presentarse en áreas de alacuita estrechamente asociada con zonas de silicificación. Cuando ocurren en rocas metamórficas aparecen cortando la foliación, toman coloración ligeramente verdosa y los máficos de la roca encajante se muestran cloritizados, epidotizados o reemplazados por sulfuros.
4. Venas de cuarzo gris de aspecto masivo y textura brechoide (fig. 17) contienen fragmentos de roca, cuarzo y feldespato en matriz criptocristalina gris oscura con sulfuros diseminados. Esta es la principal mena portadora de oro tanto en California como en Vetas. Aunque el espesor varía desde unos pocos centímetros hasta varios metros, las mejores bonanzas se encuentran en venas de espesor promedio. En el Cuadro 3 se muestran las diferencias en el contenido metálico de acuerdo con la variación en el espesor del filón.

Estos filones se presentan en zonas fracturadas y cizalladas y comunmente se relacionan con apófisis o diques de roca porfírica. A pesar de su inclinación y espesor variable pueden mostrar una dirección bastante continua. En Vetas el filón de la mina El Volcán, presenta una longitud mayor de 400 m (Richard Knapp, comunicación oral). Es posible que en profundidad ocurra cierto curvamiento del filón y llegue hasta desaparecer, pues en depósitos de este tipo la profundidad de los filones suele ser menor que su longitud (Bateman A., 1961).

#### ASOCIACIONES MINERALES

En la zona, la mineralización se localiza principalmente en filones, venillas y esporádicas diseminaciones en la roca. Los filones contienen pirita, galena, esfalerita, tetrahedrita, marcasita y en menor cantidad calcopirita y enargita. Oro y plata son los minerales

actualmente en explotación. Venillas que se infiltran en la roca encajante suelen mostrar valores altos de Cu, Pb, As, Fe y Zn, a veces acompañados por oro y plata. En las rocas metamórficas los sulfuros se encuentran en fracturas, venillas, o reemplazando algunos máficos.

La paragénesis mineral de uno de los filones de la zona (filón de San Celestino) fue estudiada por Pagnaco (1962). Las observaciones de campo y los análisis de los diferentes filones sugieren que en gran parte de la zona Vetas-California las condiciones mineralizantes fueron bastante similares a las observadas por dicho autor.

Amplias zonas de alteración mineralizadas en mayor o menor grado, evidencian un control estructural para estos depósitos. Es posible suponer que luego del emplazamiento de los pórfidos y como resultado de enfriamiento de la masa parcialmente cristalizada y de la presión de vapor generada por los fluidos volátiles, se formaron pequeñas fracturas que inicialmente permitieron reemplazamiento metasomático y facilitaron el paso de las soluciones y la depositación de cuarzo, pirita, galena y localmente enargita.

Algunos filones presentan reemplazamiento casi total de galena, por blenda y tetrahedrita. En este caso el volumen molecular de la galena es mayor que el volumen de la blenda y por lo tanto el proceso avanza relativamente fácil (Maurel, 1973). Durante este período de mineralización posiblemente se depositó una pequeña fracción del oro encontrado en venillas de cuarzo.

Posteriormente se originaron zonas de falla con relleno de brechas (fig. 17). Estas zonas cataclásticas con mayor permeabilidad permitieron que el fluido residual se difundiera en todas direcciones y depositara cuarzo gris, pirita, arsenopirita, marcasita, algunos sulfuros de cobre (calcopirita-bornita) y posiblemente la mayor parte de oro.

En el Cuadro 2, muestras 73217 y 72661 se presentan los análisis de roca porfírica asociada con un filón mineralizado, y en el Cuadro 3, los análisis de varias muestras de pórfido. Comparando estos resultados se observa que tanto la roca encajante como el pórfido asociado con filones mineralizados, no presentan valores anómalos en el contenido metálico.



FIGURA 16. Roca granítica con vena de cuarzo. Las cavidades se han originado por disolución de los sulfuros. Río La Baja 150 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Chicaguá.

FIGURA 17. Brecha mineralizada. Filón de San Celestino.



NUMERO LABORATORIO	1 74269	2 74270	3 74271	4 74268	5* 74276	6* 74277	7* 74278
TIPO DE MUESTRA	FILON (Espesor >1 m)	ZONA DE ROCA + FILON	ROCA ENCAJANTE	PORFIDO ASOCIADO	FILON (Espesor 0,5-0.6 m)	ZONA DE OXIDACION	PORFIDO ASOCIADO
Mn (ppm)	30	150	2.000	1.500	70	20	70
Ag	70	1	1	—	1.000	70	1
As	200	—	—	—	2.000	1.500	—
Au	L 10	—	—	—	15	L 10	—
Cd	L 20	—	—	—	100	—	—
Cu	50	L 10	15	30	7.000	300	L 10
Mo	5	—	20	—	20	100	—
Pb	500	70	20	50	20.000	7.000	50
Sb	100	—	—	—	3.000	700	—
Zn	1.500	—	—	300	7.000	500	200

\* Muestras Tomadas en un Nivel Superior

L = Menor de

CUADRO No. 3

VARIACION EN EL CONTENIDO METALICO DE ACUERDO CON EL ESPESOR DEL FILON  
Mina La Francia (Quebrada La Plata) Por Camino a Vetas 5 km al S 15° E de California.

Esta apreciación sugiere que en California no es aplicable la hipótesis de Stephenson (en Weber and Stephenson 1973, p.405) y otros autores, quienes atribuyen la concentración de oro en venas de cuarzo como resultado de secreción lateral del oro desde la pared de roca alterada. La opinión general es que el oro tiende a concentrarse en el fluido residual, siendo uno de los últimos minerales en cristalizar. Helgeson and Garrels (1968, p. 634) concluyen: "Gold is carried in hydrothermal solutions primarily in the aurous state and geologic observations suggest that less than 0.02 ppm gold in solution is sufficient to account for major gold ore deposits".

Los análisis de muestras de roca alterada solo contienen trazas de oro, excepto en zonas adyacentes al filón donde muestras silicificadas y piritizadas dan valores tan altos como 35 ppm de oro. Tilling, Gottfried and Rowe (1973, p. 177) sostienen que los valores de oro significativamente mayores que el valor normal "background" reflejan "penetración" de la roca por soluciones procedentes de las venas.

La presencia de espacios vacíos, desplazamiento de venillas, entrecruzamiento de cristales de cuarzo, deformación y relleno no simétrico con apariencia bandeada, demuestran que la mayoría de venas y filones de cuarzo provienen de relleno de cavidades. Estas venas o filones de fisura presentan una zona de alteración aproximadamente paralela a las paredes de la fisura (fig. 18); el ancho trata de ser uniforme a los lados de la grieta y aunque varía según el tipo de roca, es el volumen del filón el que determina su magnitud.

Los valores irregulares de oro encontrados en filones con abundante piritita y la asociación oro-tipo de cuarzo, sugieren que la depositación de oro, cuarzo y piritita no fue simultánea. Helgeson and Garrels (1968, p. 633) mencionan que los "bre shoots" (zonas de bonanza) presentes en algunos filones, representan zonas donde pequeñas variaciones en el pH de las soluciones, facilitan la depositación de oro y piritita.

La coloración gris observada en algunos filones de cuarzo con alto porcentaje de oro, pudo originarse tanto por dispersión de diminutas partículas de carbono primario du-

rante la fase gaseosa, como por la presencia de agregados y laminillas de sericita. La brecha mineralizada de San Celestino y otros filones con altos valores de oro y ligeras cantidades de uranio, contienen cuarzo gris. Este tipo de cuarzo criptocristalino con apariencia de calcedonia y localmente asociado con minerales como adularia, alunita y marcasita, demuestra que originalmente la sílice precipitó de las soluciones como fase metaestable y en condiciones de baja temperatura.

Nelson (en Bueno 1955a) encontró que los minerales de uranio, principalmente uraninita como finísimas inclusiones diseminadas en cuarzo, están restringidos a las zonas brechadas del filón.

White, W. (1943) y Boyle, R. (1969) atribuyen la depositación de oro a procesos de dilatación y cataclasis (microbrechación y recristalización simultánea) acompañados de difusión. Estos procesos preferencialmente se desarrollan en áreas donde han predominado condiciones cercanas a superficie. Una temperatura ligeramente superior a 175° C parece ser la más conveniente para la depositación de oro-cuarzo (White, W. 1943, Helgeson and Garrels, 1968).

El modo de ocurrencia del oro en los filones ha sido motivo de diferentes controversias. Para muchos, el oro no se encuentra en solución sólida sino como partículas submicroscópicas de oro nativo o de un mineral de oro dentro de la piritita; como relleno de fracturas en cuarzo o sulfuros, o reemplazando a los sulfuros (Von Rahden, 1965; Wells and Mullens, 1973).

Usualmente los filones con mineral primario sin oxidar contienen oro que no puede observarse a simple vista, ni bajo el microscopio, lo cual demuestra su tamaño submicroscópico. Los estudios de Bueno (1955a) revelan que aun moliendo los concentrados sulfurados del Filón de San Celestino hasta -200 Mesh, es posible recuperar una parte del oro presente en tales concentrados. Wells and Mullens (1973) comprueban que el oro y arsénico principalmente se encuentran en diminutos granos (menores de 5 micrones) de piritita diseminada en los filones.

Los análisis mostrados en el Cuadro 4 presentan diferencias en el contenido de oro, según que el análisis sea sobre mineral del fi-



**FIGURA 18.** Zona de alteración paralela a una venilla de cuarzo con sulfuros. Rfo La Baja, 100 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada La Higuera.

NUMERO LABORATORIO	MUESTRA ANALIZADA	ELEMENTO													
		Fe	Mg	Ca	Ti	Ag	As	Au <sup>1</sup>	Hg <sup>2</sup>	Bi	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn
		%				p p m									
7 3 3 7 8	Vena de cuarzo con sulfuros.	15	L0,02	—	0,015	200	500	36,57	7,55	200	20.000	150	300	—	—
7 3 3 7 9	Mineral molido	5	0,07	L0,05	0,200	200	150	8,68	7,45	70	10.000	70	1.500	—	—
7 3 3 8 0	Mineral concentrado	20	—	—	0,050	500	200	55,50	7,25	70	20.000	70	150	—	—

1 Análisis por Absorción Atómica

L = Menor de

2 Análisis Instrumental

CUADRO No. 4 ANALISIS ESPECTROGRAFICO DE UNA MUESTRA DE FILON COMPARADO CON LOS ANALISIS DE LA MUESTRA MOLIDA Y CONCENTRADA (MINA LA MASCOTA).

lón, sobre mineral molido o sobre el concentrado de pirita del mismo filón. Estos valores reflejan una distribución desigual de partículas sea de oro nativo o de otros minerales de oro dentro de la pirita y el cuarzo y sugieren que los filones contienen oro de diferente finura.

En el capítulo de Geoquímica se presentan algunas relaciones entre el oro y varios elementos. A primera vista la asociación Ag-Mo aparenta ser más frecuente que las asociaciones Au-Mo y Cu-Mo. Localmente delgadas venillas de molibdeno dan color oscuro al cuarzo y se encuentran en muestras de roca porfirítica.

El cobre parece ser uno de los elementos corrientemente asociados con el oro. Filones con altos valores de oro y bajo contenido de cobre, suelen presentar mayor lixiviación de los componentes. Algunas muestras de filón o de roca alterada presentan valores de arsénico demasiado altos, mientras que el contenido de oro es bajo.

Una relación promedia entre oro y plata de 1:15.5 fue determinada por Bueno (1955a) para uno de los filones. Posiblemente la relación para el área sea un poco menor, ya que no se tiene conocimiento sobre la presencia de plata nativa y la mayoría de filones con altos valores de oro, rara vez son ricos en plata.

Los depósitos de California presentan características genéticas que permiten describirlos como "mesotermales". Stanton (1972) agrupa estos depósitos dentro del grupo de "base metal sulfide veins of igneous association". De acuerdo a las dimensiones observadas en el campo y a la abundancia relativa de elementos, los depósitos también se pueden incluir en el grupo que Kesler (1972) denomina "depósitos de oro-cobre". La imposibilidad para demostrar que un pórfido es estéril (Stringham, 1960) y la estrecha asociación de la mineralización con cuerpos porfiríticos, permiten esperar que en algún sitio, se encuentre un pórfido productivo.

Otro tipo diferente de mineralización se presenta en los nacimientos de la quebrada Chorrerón. Se trata de un depósito de manganeso, que ocurre, principalmente como relleno de fracturas. Algunos lentejones de varios metros de longitud y de 50-80 cm de espesor contienen material de buena calidad. Una muestra (H. M. 692) de este mineral dio el siguiente análisis químico:

Silicio en SiO <sub>2</sub>	0.42 %
Hierro en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.23 %
Aluminio en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.51 %
Fósforo en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11 %
Manganeso en MnO <sub>2</sub>	87.04 %
Manganeso en Mn	55.00 %
Hierro en Fe	0.86 %
Fósforo en P	0.05 %

Actualmente se explota un lentejón del cual se han extraído aproximadamente unas 500 toneladas de mineral

#### ALTERACION

Tratándose de depósitos de filones de oro-cuarzo cuyas soluciones han reaccionado con las rocas encajantes, es importante conocer el papel desempeñado por la alteración tanto hipogénica como supergénica. Distinguir los tipos de alteración es muy difícil en rocas como las de California, sometidas a extensa lixiviación y consecuente oxidación. Diferentes estudios demuestran que los efectos hipogénicos pueden ser transicionales a supergénicos (Meyer and Hemley, 1967; Rose A., 1970; Sillitoe R., 1973).

Tentativamente es posible mencionar entre los minerales hipogénicos: biotita, epidota, parte de la sericita, clorita, cuarzo y quizá arcilla. Como minerales supergénicos: material arcilloso, alunita, adularia, algo de sericita, cuarzo y posiblemente clorita.

Dentro del área estudiada se establecen 4 tipos de alteración: argílica, propilítica sericítica y silicificación. A pesar de la superposición entre los diferentes tipos de alteración, el mayor desarrollo de un tipo sobre el otro, ha sido favorecido por la composición de la roca y el grado de fracturamiento.

#### ALTERACION ARGILICA

Este tipo de alteración va desde una ligera alteración de los feldespatos a minerales con aspecto arcilloso, hasta un estado más avanzado de alteración. Generalmente los filones contienen minerales arcillosos, cuarzo, pirita, sericita y algunos, como el filón de San Celestino, presentan alunita y enargita. Este conjunto de minerales presenta un estado de alteración argílica avanzada (Meyer and Hemley en Barnes, 1967, p. 172). La presencia de alunita en filones de cuarzo sin molibdeno, sugiere que se trata de alunita supergénica. El cuadro 3 muestra las muestras 74271, 74268 y 74278, contiene los análisis de roca con

ligera alteración argílica. La aparente esterilidad de la alteración argílica demuestra que en parte está relacionada con agua meteórica (Patton T., Grant, A. and Cheney, E., 1973).

#### ALTERACION PROPILITICA

La alteración propilitica incluye minerales como clorita, epidota, calcita, etc. y generalmente se presenta en zonas alejadas de los centros de mineralización. Las rocas (cuarzodiorita y pórfido) muestran plagioclasa parcialmente sericitizada, en parte con núcleos de alteración a saururita; los ferromagnesianos son alterados o reemplazados por clorita y epidota, y éstos pueden ser rodeados o reemplazados por pirita. El cuarzo es accesorio, la pirita presenta corona de oxidación a hematita y a veces se encuentra abundante apatito incluido en la biotita. El predominio de calcita en algunos pórfidos, sugiere que un medio con deficiencia en alúmina, permitió que el calcio lixiviado de la hornblenda se combinara con el anhídrico carbónico.

#### ALTERACION SERICITICA

La presencia de minerales como sericita, cuarzo y pirita, determina que la alteración sericítica ocupe amplias zonas de la región y aparezca como una alteración predominante. Su intensidad varía desde angostas zonas limitadas a las venas, a zonas de varios metros principalmente en la alaska. Esta roca es cruzada por numerosas venillas de cuarzo, localmente con sulfuros de hierro y cobre, presenta plagioclasa sericitizada y feldespato potásico relativamente fresco. En zonas de fractura hay nidos de biotita pardamarillenta, a veces parcialmente cloritizada o con esporádicos núcleos de epidota. La pirita se encuentra disseminada y asociada principalmente a agregados y láminas de muscovita.

#### SILICIFICACION

Como la depositación de los sulfuros va acompañada de precipitación de sílice, la silicificación frecuentemente está asociada a otros tipos de alteración, y es el resultado del comportamiento de las soluciones sobre un amplio rango de ambientes. Generalmente sericitización y silicificación van acompañadas de pirita, por lo que áreas como éstas es posible ubicarlas en la denominada "zona filica" de Lowell and Guilbert (1970). Una

franja de aproximadamente 2 km de largo que se extiende en el borde de la quebrada La Baja, presenta rocas intensamente silicificadas, localmente con abundante pirita, que al oxidarse produce azufre libre el cual aparece mezclado con limonita.

Localmente y dentro de esta franja se encuentran rocas con abundante pirita disseminada y en venillas, calcopirita, y a veces pequeñas manchas de malaquita. Los análisis de estas muestras dan valores altos de cobre acompañados de oro, molibdeno y plata.

#### METEORIZACION-OXIDACION

El papel desempeñado por los agentes meteóricos resulta evidente, al tratar de establecer la relación que existe entre el filón de mineral primario y aquellas zonas con cierta oxidación.

El Cuadro 5, permite apreciar las variaciones entre el contenido de oro en el filón y el contenido en la zona de oxidación adyacente. Para explicar estas variaciones es razonable aceptar la presencia de soluciones en las que el oro se disuelve.

Tanto en los filones primarios como en las zonas de oxidación se observa la asociación oro-cobre, lo cual demuestra cierta conexión química entre los minerales de cobre y la depositación de oro. Algunas sustancias orgánicas han sido mencionadas como agentes precipitantes de oro. Radtke A. y Schneider B. (1970, p. 96) encuentran un ácido orgánico similar al "ácido húmico" con grupos funcionales capaces de interactuar los complejos de oro, para formar compuestos orgánicos de este mineral.

Uno de los elementos caracterizado por su baja movilidad es el oro, sin embargo en zonas como la de California, donde predominan las reacciones químicas, la movilidad de los elementos puede ser bastante diferente a la encontrada en ambientes normales (Hawkes and Webb, 1962). Aunque en la región, la velocidad de erosión predomina sobre la velocidad de concentración, es posible encontrar zonas con minerales secundarios como covelita, calcosina, calcantita, brocantita, malaquita y azurita, lo cual demuestra abundante actividad química.

NUMERO LABORATO- RIO	Muestra Analizada		ELEMENTO													LOCALIDAD
	Filón	Oxid.	Fe	Mg	Ca	Ti	Ag*	As	Au*	Bi	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn	
			%						p p m							
72098	X		7	—	0,10	0,020	50	300	12,11	10	1.000	30	10.000	—	—	La Mascota
72099		X	5	—	—	0,002	46	700	0,27	—	1.500	30	30	—		
72103	X		5	0,07	0,05	0,015	—	L 200	8,27	150	70	30	150	—	—	La Angostura
72104		X	3	0,02	0,10	0,007	—	500	5,09	20	200	—	30	—	—	
72131	X		3	0,03	—	0,150	16	—	3,99	15	70	70	70	—	—	Asturias
72130		X	1,5	0,05	—	0,100	17	—	86,92	30	20	30	70	—	—	
72117	X		5	0,02	—	0,005	733	700	14,58	30	5.000	150	70	—	—	El Diamante
72116		X	3	0,03	—	0,005	—	L 200	10,42	30	150	100	30	—	—	
72660	X		2	0,07	—	0,100		—	—	—	200	—	15	—	—	Agualejía
72659		X	7	0,02	0,05	0,007		300	0,22	—	1.000	10	300	—	—	

\* Análisis por Absorción Atómica

L = Menor de

CUADRO No. 5 ANALISIS ESPECTROGRAFICO DE CINCO MUESTRAS DE FILON Y ZONAS DE OXIDACION ADYACENTES

Los análisis y microfotografías de diferentes yacimientos, han confirmado que por oxidación y descomposición de la pirita, el oro debe encontrarse como pseudomorfo de hematita-goetita. Algunas zonas de oxidación permiten observar diminutos granos de oro, mientras que en la mayoría de filones tal apreciación es muy rara; esto comprueba que en zonas de oxidación, el oro ha sido recristalizado y concentrado virtualmente in situ (Wells and Mullens 1973). Filones y zonas de oxidación con altos valores de oro y bajos de plata sugieren que la lixiviación progresiva de la plata, permitió que el oro primario aumentara su pureza.

Cloke P. and Kelly W. (1964, p. 266) encuentran que en condiciones fuertemente ácidas y con adecuado suministro de ión cloruro, una vena que contenga una onza de oro por tonelada, puede ser lixiviada de todo el oro hasta una profundidad de 750 pies. Esta sería una causa por la cual varios filones ligeramente oxidados, o zonas con abundante oxidación no presentan valores de oro.

El sulfato férrico y soluciones de ácido sulfúrico con cloruros y bióxido de manganeso son sustancias que pueden disolver el oro. También se ha sugerido que el oro es transportado como complejos de arsénico, antimonio y azufre.

Los cálculos termodinámicos y datos experimentales han comprobado que soluciones acuosas ácidas o casi neutras son capaces de transportar cantidades sustanciales de oro. (Cloke and Kelly 1964; Helgenson and Garrels, 1968; Weissberg B., 1970; Tilling R., Gottfried D. and Rowe J. 1973).

Estas apreciaciones demuestran que en la región Vetas-California, las condiciones de alteración-mineralización constituyen una base con buenas perspectivas para futuras exploraciones.

#### PROSPECCION GEOQUIMICA

La prospección geoquímica en el área de California tuvo como objetivo primordial determinar una posible diseminación de oro dentro de las rocas encajantes, la cual permitiera una explotación conjunta de roca y filones, a cielo abierto. Esto haría posible el beneficio de un gran volumen de roca mineralizada con un tenor de oro mucho más bajo del que actualmente se explota para los filones. Además se podrían beneficiar otros

elementos tales como plata, cobre y posiblemente molibdeno, presentes en pequeñas cantidades dentro del área mineralizada.

#### SISTEMA DE MUESTREO Y ANALISIS EFECTUADOS

La prospección tuvo como base un muestreo sistemático de rocas. Simultáneamente se colectaron algunas muestras de suelo y sedimentos activos con miras a su posible utilización como método de prospección geoquímica en el distrito de California y en los sitios donde se presenten características geológicas similares.

#### MUESTREO DE ROCAS

Teniendo en cuenta la extensión y estudios previos del área de interés se decidió llevar a cabo un muestreo de rocas como base a la prospección geoquímica de la zona considerada. Esto permitiría un conocimiento directo del contenido y variación de elementos importantes tales como oro, plata, cobre y molibdeno dentro de los diferentes tipos de roca que afloran en la zona mineralizada.

Se colectaron aproximadamente 600 muestras de roca de las cuales 500 fueron enviadas para análisis químico. Están discriminadas en la siguiente forma: 20 en rocas sedimentarias, 46 en rocas metamórficas, 52 en rocas ígneas de carácter porfirítico, 248 en rocas graníticas y 134 en filones de cuarzo. Los pórfidos varían en composición de dacita a andesita y las rocas graníticas incluyen granito, cuarzomonzonita, granodiorita, y cuarzodiorita. Dentro de los filones, 69 muestras corresponden a la zona de oxidación (las llamadas "carachas" por los mineros de la región) y 65 a la zona de sulfuros primarios.

A las 500 muestras se les efectuó análisis espectrográfico completo y absorción atómica para oro. De estas se escogieron 91 muestras, las cuales fueron analizadas para mercurio, por detector, teniendo como objetivo la correlación oro-mercurio, y la posible utilización de éste último, como elemento guía en la búsqueda de nuevas mineralizaciones de oro.

#### MUESTREO DE SUELOS

Se colectaron un total de 120 muestras de suelo dentro del área de interés. A conti-

nuación se mencionan algunos inconvenientes encontrados en la ejecución de dicho muestreo: 1) Debido a la topografía abrupta, en gran porcentaje del área no se han formado suelos y donde están presentes, los distintos horizontes muestran falta de continuidad. 2) Los trabajos de explotación de las minas han producido una fuerte contaminación de los suelos y 3) En pequeños valles y zonas bajas lo que podría clasificarse como suelo corresponde en realidad a sedimentos de llanuras aluviales.

A las muestras colectadas se les practicó análisis espectrográfico completo y de absorción atómica (A.A.) para oro. Solo se presentaron algunos valores anómalos para oro y cobre los cuales son completamente erráticos y en general no corresponden a las áreas mineralizadas conocidas previamente.

Estos factores adversos descartaron la programación de un muestreo sistemático de suelos como posible herramienta de prospección geoquímica.

#### MUESTREO DE FINOS Y CONCENTRADOS DE BATEA

Se colectaron 63 muestras de sedimentos finos y 40 concentrados de batea en la cuenca hidrográfica de la quebrada La Baja. Casi la totalidad de la cuenca ha sido objeto de trabajos de minería, lo cual ha producido una fuerte contaminación en los sedimentos activos.

A los sedimentos finos se les efectuó análisis espectrográfico completo y de absorción atómica (A.A.) para oro, mientras los concentrados de batea fueron analizados al binocular para determinar el número de granos de oro y otros minerales presentes. Los valores de oro en los sedimentos finos son muy escasos, completamente erráticos y no muestran relación alguna con las mineralizaciones conocidas. Prácticamente en todos los concentrados de batea se detectó oro pero éste, debió ser en gran parte derivado de la explotación de los filones auríferos y aun del mineral de los molinos, los cuales en muchos casos se encuentran localizados en las márgenes de las quebradas y vierten sus colas dentro de las corrientes. Esta serie de factores impide tener una idea cierta sobre la movilidad y dispersión del oro; por tanto un muestreo de orientación en estas condiciones no sirve como base a

una programación sistemática en búsqueda de nuevas anomalías en áreas que no presenten indicios de explotación y contaminación.

#### RESULTADOS GEOQUÍMICOS EN ROCAS

En la evaluación de los resultados geoquímicos se usaron histogramas de distribución para oro, plata, cobre, molibdeno y plomo. Para mejor apreciación de los resultados las rocas fueron divididas en 5 grupos litológicos: sedimentario, metamórfico, pórfido, granito y filones. En algunos casos estos histogramas carecen de significación debido al bajo número de la población. Tal es el caso del sedimentario donde la población consta únicamente de 20 valores.

Otros elementos como zinc, arsénico y antimonio muestran muy pocos valores positivos debido a la poca sensibilidad del método analítico usado (Espectrografía). En estos casos no se consideró conveniente el uso de histogramas y solo se destacan algunas deducciones.

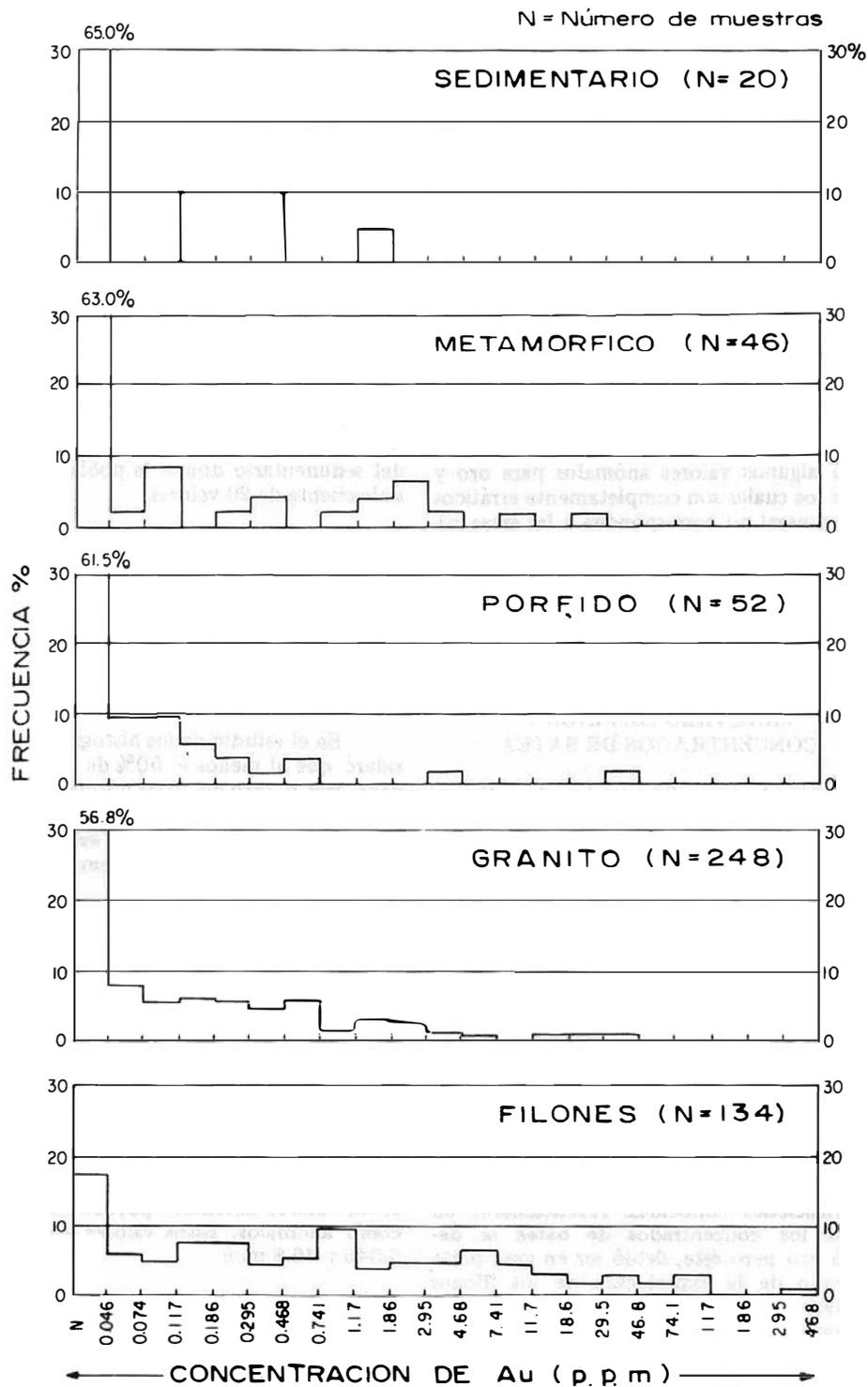
En el estudio de los histogramas se consideró que al menos el 50% de la población debe caer dentro del valor normal; dos o tres veces este valor puede considerarse como el valor umbral y por encima de este los valores obtenidos se consideraron anómalos.

#### ORO

Los histogramas muestran la distribución de oro y su relación con el tipo de roca (fig. 19).

Considerando como encajante a las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas (incluyendo pórfidos y granitos) se aprecia que el oro no fué detectado en más del 60% de las muestras consideradas, así que prácticamente los valores obtenidos pueden considerarse como anómalos. Estos valores varían entre 0.046 y 46.8 ppm.

En los filones, el oro parece presentar una distribución bimodal, con modos en aproximadamente 1 y 7 ppm. Para la primera población podrían considerarse anómalos con valores iguales o mayores a 3 ppm y para la segunda, la más interesante, serían anómalos los valores iguales o mayores a 7 ppm.



Límite de detección 0,05 ppm

FIGURA 19. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE ORO Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. ANALISIS POR ABSORCION ATOMICA

## PLATA

Los histogramas, muestran la distribución de plata y su relación con el tipo de roca (fig. 20).

En las rocas encajantes se aprecia que la plata no fue detectada en más del 50% de las muestras. Aproximadamente el 70% de los valores está por debajo de 1 ppm, valor que puede considerarse como normal especialmente para los granitos. Valores iguales o mayores a 3 ppm pueden considerarse como anómalos y varían entre 3 y 100 ppm.

En los filones el valor normal oscila entre 5 y 7 ppm y se considera como umbral un valor de 15 ppm. Por encima de éste se consideran valores anómalos, los cuales varían entre 15 y 700 ppm.

## COBRE

Los histogramas muestran la distribución de cobre y su relación con el tipo de roca (fig. 21).

En las rocas encajantes especialmente en las graníticas, el cobre presenta una distribución unimodal con un modo bien definido en 70 ppm, el cual puede considerarse como valor normal. Se puede fijar el valor umbral en 200 ppm y anómalos los valores iguales o superiores a éste, los cuales varían entre 200 y 15.000 ppm.

La distribución de cobre en filones es sensiblemente unimodal con un modo en 200 ppm, el cual puede corresponder al valor normal. Como umbral puede considerarse un valor de 500 ppm y por encima de éste, los valores anómalos, que alcanzan hasta 20.000 ppm.

## MOLIBDENO

Los histogramas muestran la distribución de molibdeno y su relación con el tipo de roca (fig. 22).

En las rocas encajantes, aproximadamente 60% de los valores está por debajo de 5 ppm, valor que puede considerarse como normal. El valor umbral puede fijarse en 15 ppm, y los valores iguales o superiores, los cuales se consideran anómalos, alcanzan valores máximos de 700 ppm.

La distribución de molibdeno en filones es aproximadamente unimodal con un modo en 15 ppm que se fijó como valor normal. Como umbral 50 ppm y los valores entre éste y 1.000 ppm se consideran como anómalos.

## PLOMO

Los histogramas muestran la distribución de plomo y su relación con el tipo de roca (fig. 23).

Dentro de las rocas encajantes los histogramas de plomo en el sedimentario y metamórfico no muestran mayor significación. Los pórfidos y granitos muestran una distribución unimodal del elemento con un modo en 15 ppm que puede tomarse como valor normal. Como umbral puede considerarse un valor de 50 ppm y como anómalos, los valores iguales o superiores a éste, los cuales alcanzan un máximo de 1.500 ppm.

En los filones, la distribución es aproximadamente unimodal con un modo en 70 ppm que se puede tomar como valor normal. El valor umbral puede fijarse en 200 ppm y por encima de éste se consideran valores anómalos con un máximo de 15.000 ppm.

## ZINC

Debido al alto límite de detección del zinc por espectrografía (200 ppm) únicamente se obtuvieron valores para el 7.6%, de las muestras consideradas. El 3.4%, corresponde a las rocas encajantes que muestran variaciones entre 200 y 3.000 ppm, presentándose los valores más altos en las rocas ígneas.

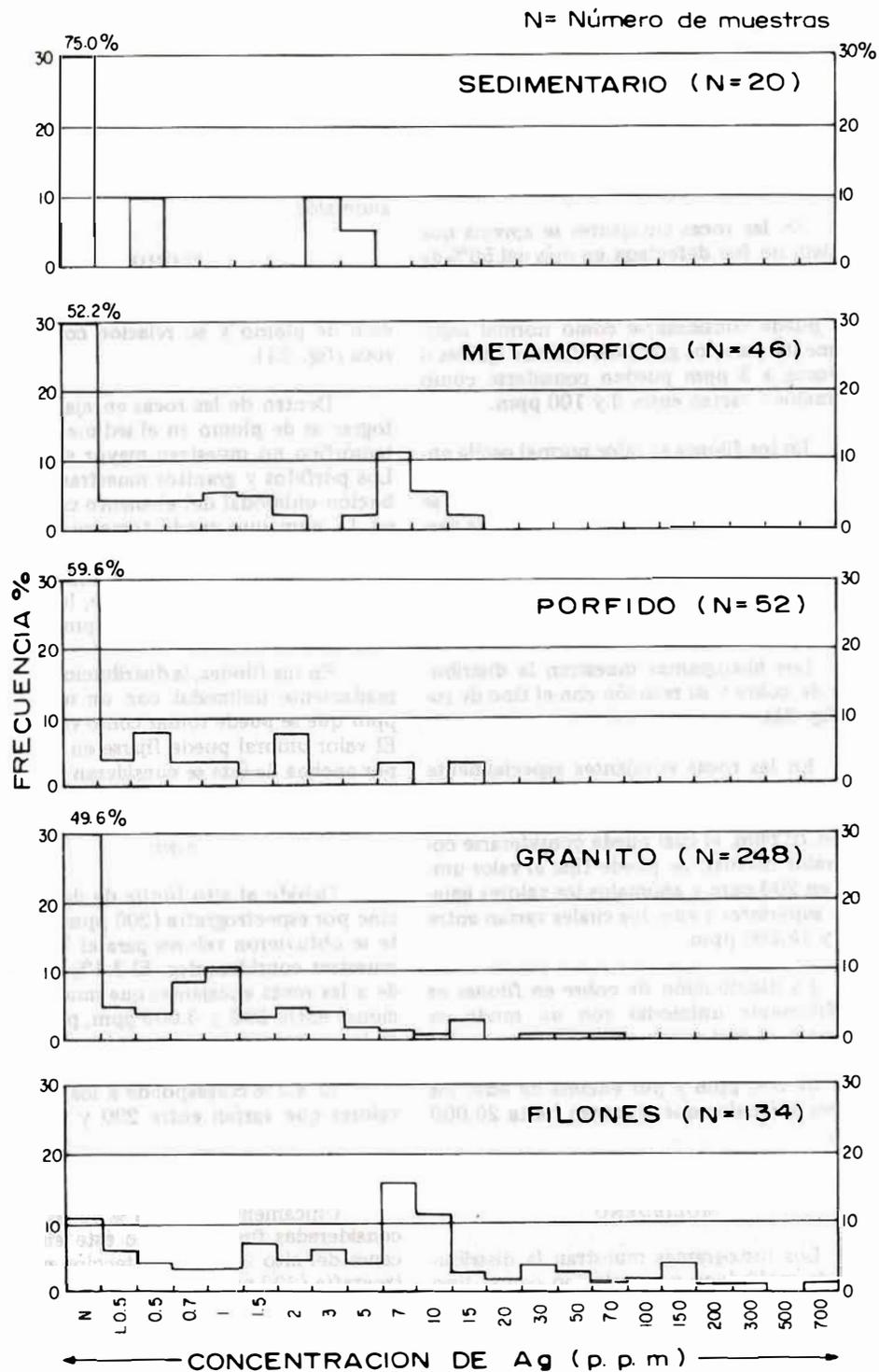
El 4.2% corresponde a los filones con valores que varían entre 200 y 2.000 ppm.

## ARSENICO

Únicamente en el 17% de las muestras consideradas fue detectado este elemento a causa del alto límite de detección por espectrografía (200 ppm).

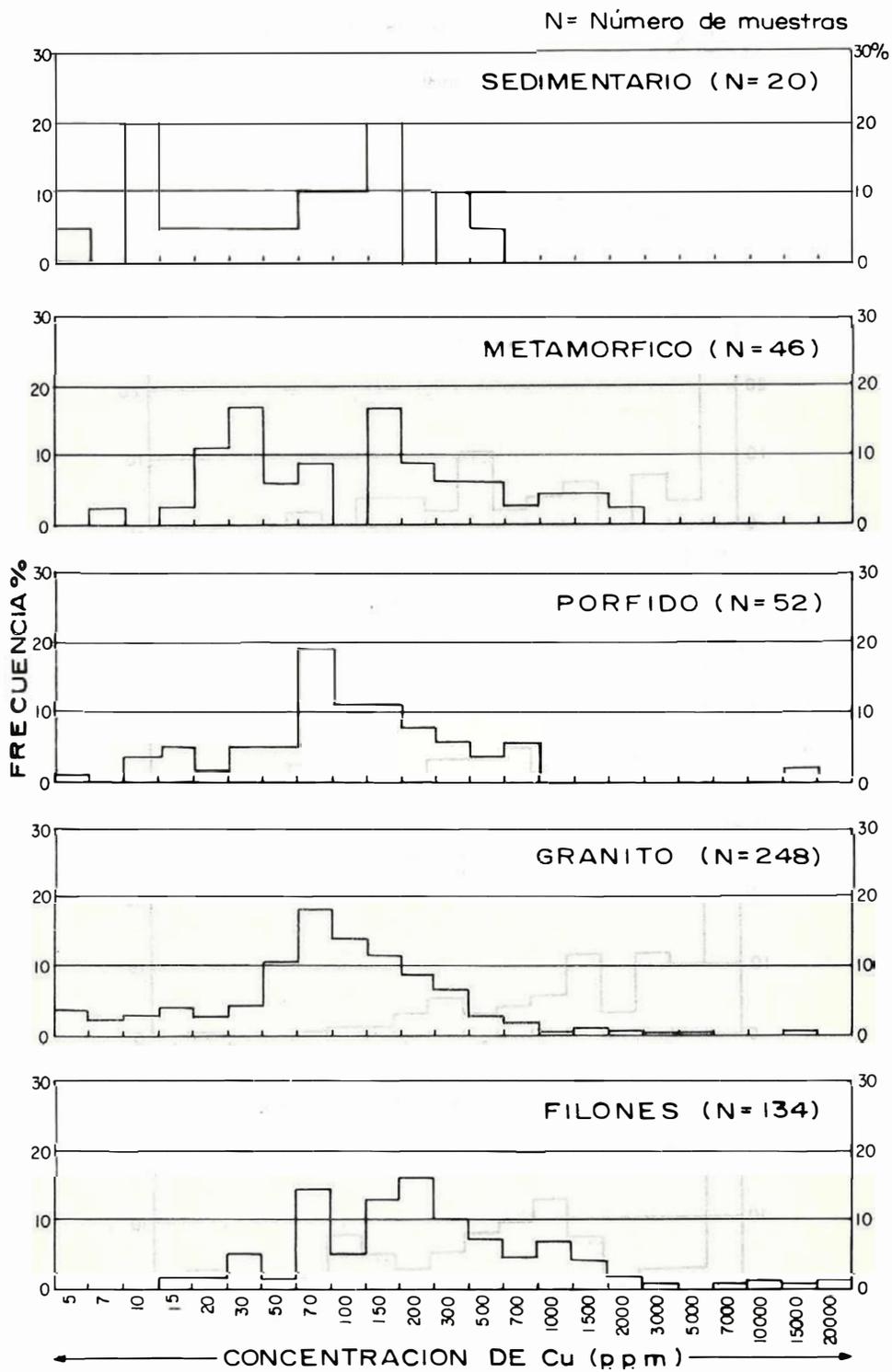
El 6.4% corresponde a las rocas encajantes con valores que varían entre 200 y 3.000 ppm. Los valores más altos corresponden a las rocas ígneas, mientras que en el sedimentario no se detectó arsénico.

El 10.6% corresponde a los filones con variaciones entre 200 y 5.000 ppm.



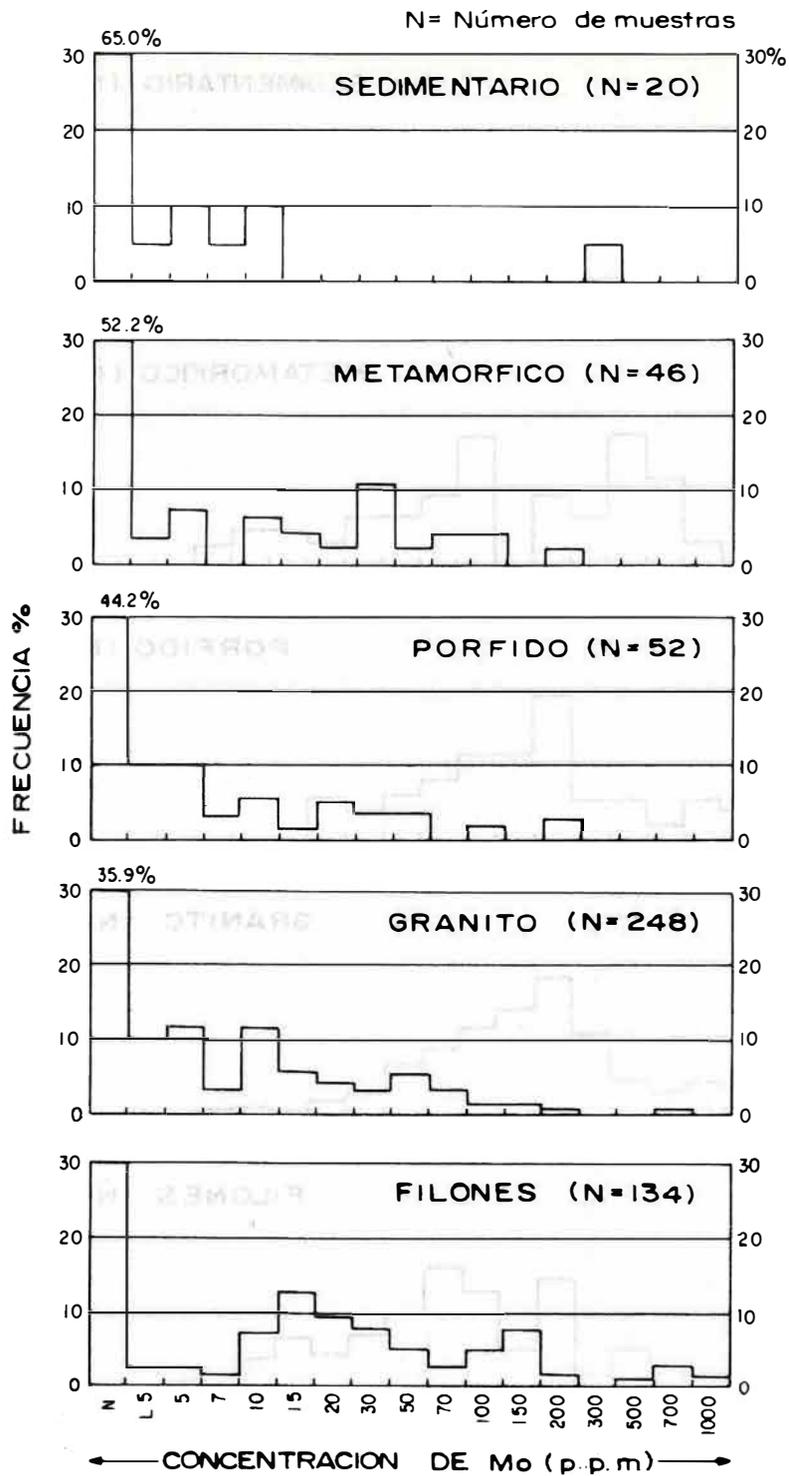
Límite de detección 0,5 ppm  
(L 0,5: Elemento detectado pero por debajo del límite de determinación)

**FIGURA 20. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE PLATA Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA**



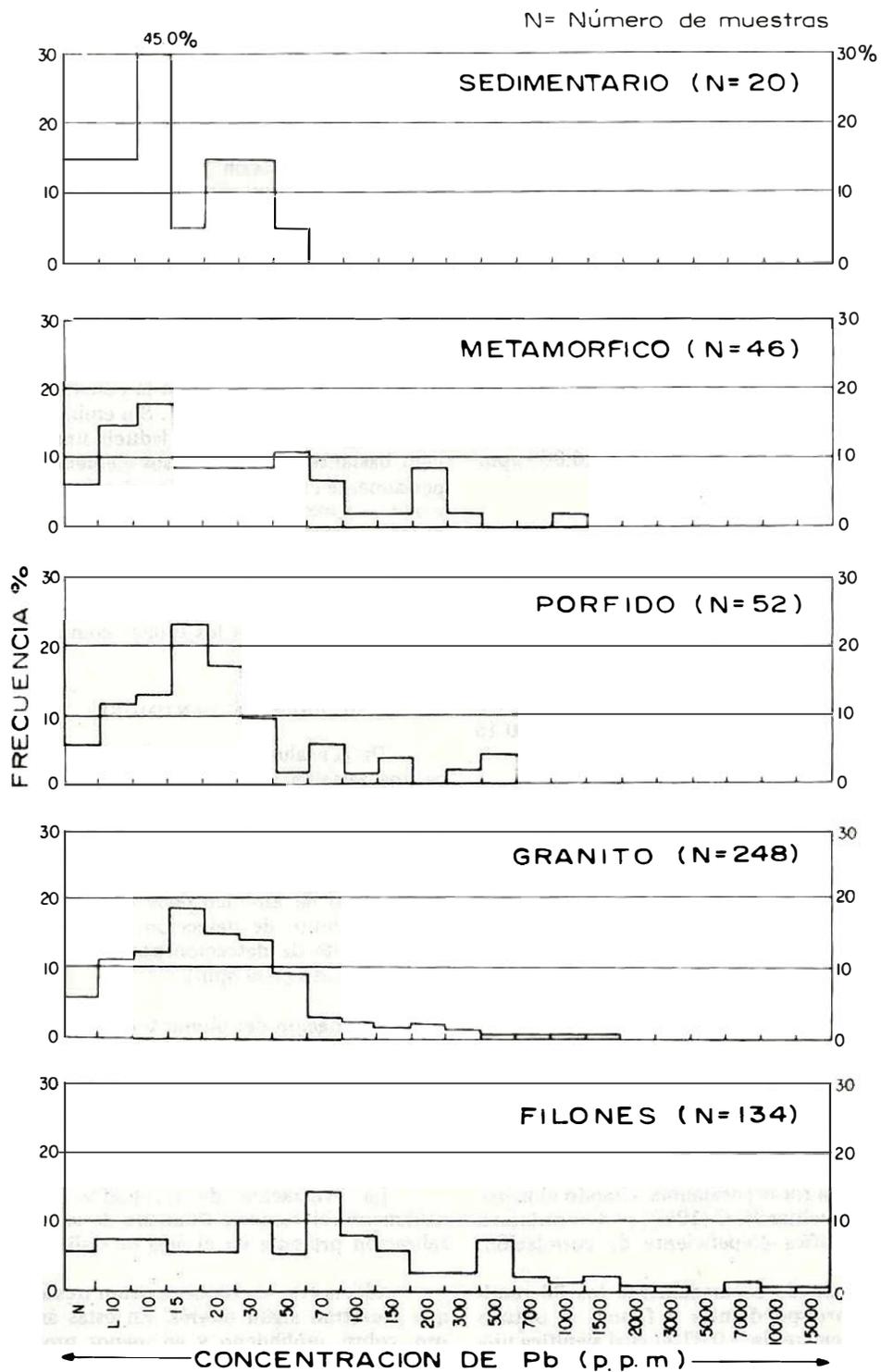
Límite de detección 5 ppm

FIGURA 21. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE COBRE Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA



Límite de detección 5 ppm  
(L 5: Elemento detectado pero por debajo del límite de determinación)

**FIGURA 22. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE MOLIBDENO Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA**



Límite de detección 10 ppm  
(L 10: Elemento detectado pero por debajo del límite de determinación)

**FIGURA 23. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE PLOMO Y SU RELACION CON EL TIPO DE ROCA. DETERMINACION ESPECTROGRAFICA**

## ANTIMONIO

El límite de detección por espectrografía para este elemento es de 100 ppm. Por encima de este límite, el antimonio fue detectado únicamente en el 3.2% de las muestras consideradas.

El 0.6% corresponde a las rocas ígneas, con valores entre 100 y 200 ppm. Este elemento no fue detectado en rocas metamórficas y sedimentarias.

El 2.6% restante corresponde a los filones donde este elemento presenta valores entre 100 y 700 ppm. Una muestra de filón mostró un valor excepcional de 10.000 ppm.

## MERCURIO

Un total de 91 muestras de roca fueron analizadas para mercurio, por detector. Se detectó el elemento en el 71% de las muestras consideradas.

El 28% corresponde a las rocas encajantes con valores que varían entre 0.1 y 6.9 ppm, con un promedio aritmético de 0.15 ppm.

El 43% corresponde a los filones con variaciones del elemento entre 0.1 y 32.5 ppm, con un promedio aritmético de 1.57 ppm.

## CORRELACION DE ORO CON OTROS ELEMENTOS

## ORO-MERCURIO

El diagrama de correlación Au: Hg muestra la relación directa que existe entre estos dos elementos (fig. 24). El diagrama se construyó en base a 50 resultados, para los cuales se obtuvieron valores de oro y mercurio simultáneamente; 30 corresponden a filones y 20 a rocas encajantes. Usando el método de Lepeltier H. C (1969) se determinó en forma gráfica el coeficiente de correlación.

Tratando separadamente los 30 resultados correspondientes a filones se obtuvo un coeficiente de +0.87 el cual significa una relación directa de los dos elementos.

Tomando conjuntamente los 50 resultados correspondientes a los filones y rocas encajantes se obtuvo un coeficiente de +0.88 el cual ratifica la marcada dependencia de

los dos elementos, lo cual sugiere que en condiciones similares un elemento puede ser usado como guía para el otro.

Esta conclusión puede ser una ayuda valiosa en el trabajo de prospección geoquímica que actualmente se adelanta en el área de Cachirí y que prácticamente es una prolongación del presente trabajo.

## ORO-PLATA

Los métodos diferentes de análisis para los dos elementos dificultan la construcción del diagrama de correlación. Sin embargo de los histogramas se puede deducir una relación bastante directa de estos elementos especialmente en los filones. La relación Au:Ag varía aproximadamente, de 1:5 a 1:7 para las muestras consideradas. En las rocas encajantes la relación es menos evidente y solamente en el área de La Angostura (Plancha 2) se nota una relación bastante directa de oro y plata tanto en los filones como en la roca encajante.

## ORO-ARSENICO-ANTIMONIO

De la evaluación de resultados se deduce una relación muy marcada de estos tres elementos especialmente en los filones. El arsénico puede usarse como elemento guía en la prospección geoquímica para oro que se lleva a cabo en el área de Cachirí. Para la determinación de arsénico debe usarse colorimetría, (Límite de detección: 10 ppm) ya que el límite de detección por espectrografía es muy alto (200 ppm).

La relación del plomo y el zinc con el oro es poco marcada aunque se aprecia que conjuntamente con el oro, estos dos elementos muestran sus valores más interesantes dentro de los filones.

## EVALUACION DE LAS ANOMALIAS

La evaluación de resultados define claramente el carácter filoniano de la mineralización presente en el área de California.

Además de los filones existen tres áreas que muestran algún interés. En estas áreas, oro, cobre, molibdeno y en menor proporción plata, se encuentran en filones y localmente diseminados en la roca encajante la cual muestra señales de alteración hidrotermal. Estas áreas han sido determinadas como anomalías de La Angostura, San Antonio y El Chorrerón (Planchas 2, 3 y 4).

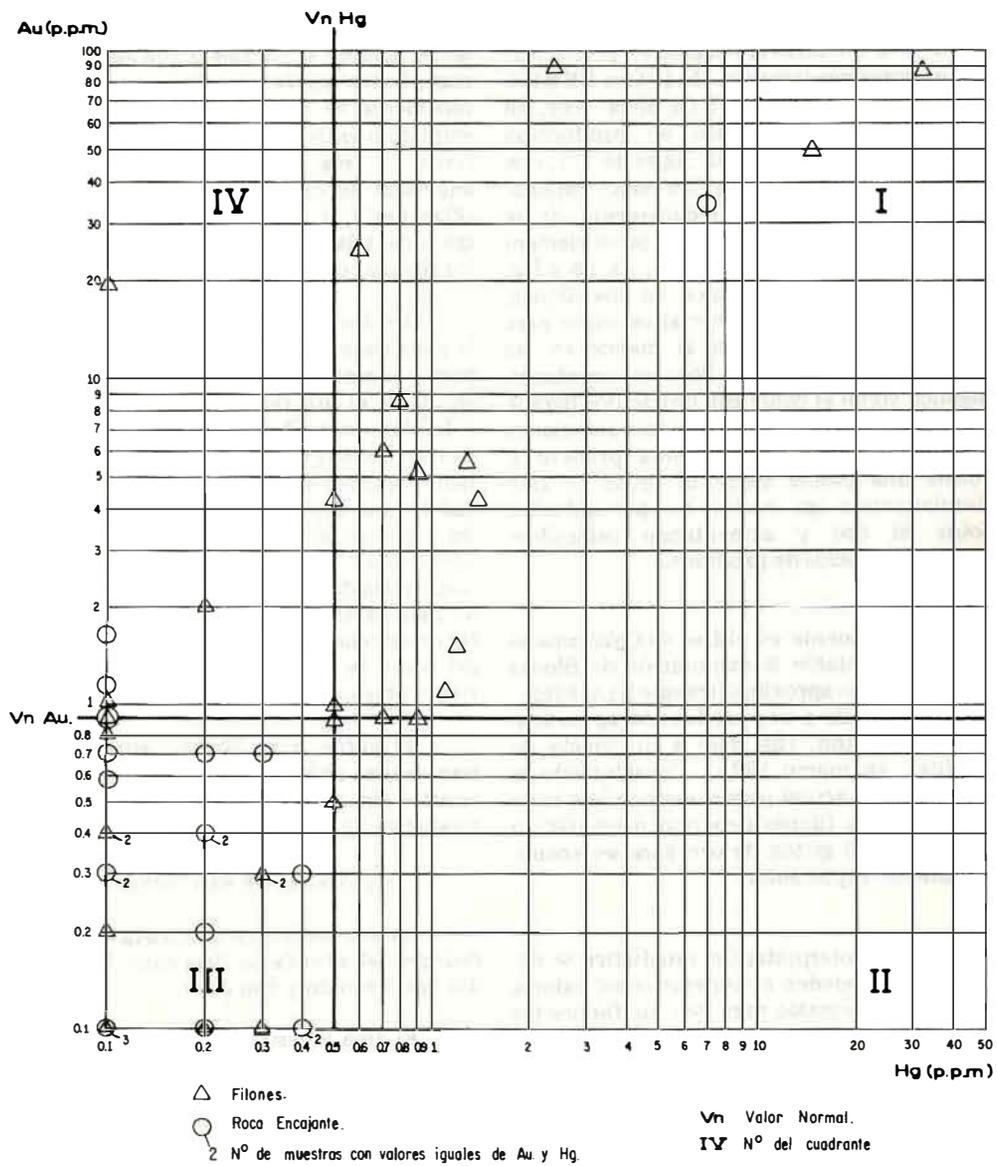


FIGURA 24. DIAGRAMA DE CORRELACION Au: Hg PARA 50 MUESTRAS DE FILO-  
NES Y ROCA ENCAJANTE

## FILONES

De los resultados obtenidos, los filones del área de California se pueden considerar como típicamente auro-argentíferos.

La relación de tenores Au: Ag se calcula de 1: 5 mientras la relación en precio Au: Ag es aproximadamente 35:1 (Oro US \$165 onza troy y plata US\$ 5.02 onza troy, en marzo 1975). Por tanto en producción económica la relación Au: Ag es de 7:1, con lo que el distrito se clasifica como eminentemente aurífero con recuperación de la plata como subproducto. Los otros elementos analizados, Cu, Mo, Pb, Zn, As, Sb y Hg, muestran valores anómalos en los filones, pero no lo suficientemente altos como para intentar su recuperación al menos en las condiciones actuales. Por el contrario algunos como el cobre son obstáculos para la recuperación del oro de las soluciones cianuradas. El cobre precipita primero y forma una pátina sobre la viruta de zinc disminuyendo su poder de precipitación sobre el oro y aumentando ostensiblemente los precios de producción.

Actualmente en el área de California se considera rentable la explotación de filones que produzcan aproximadamente \$1.000/ton, lo cual equivale a una producción aproximada de 6 gr/ton. (En base a un precio de \$170/gr, en marzo 1975). Considerando la recuperación actual para el distrito que es de un 60% , los filones deberían presentar un tenor de 10.0 gr/ton de oro para ser económicamente explotables.

De la interpretación estadística se dedujo que se pueden considerar como valores realmente anómalos para oro en filones los que sobrepasan 7 ppm o en otras palabras 7 gr/ton. Con un 60% de recuperación filones con un tenor de aproximadamente 11.6 gr/ton, serían económicamente explotables.

Como se aprecia, estos resultados obtenidos estadísticamente se acercan bastante a la realidad, demuestran la eficiencia del método y ofrecen una valiosa ayuda en la planeación y ejecución en los futuros programas de prospección geoquímica para oro que se lleven a cabo en condiciones geológicas similares.

## ANOMALIA DE LA ANGOSTURA

La anomalía está localizada al noreste de La Angostura en inmediaciones de la quebrada La Perezosa. La zona muestra evidencias de alteración hidrotermal consistente en una fuerte silicificación acompañada de sericitación y argilización de la roca encajante, aunque se considera que estas dos últimas pueden ser de carácter supergénico. Posiblemente se trata de un evento previo al emplazamiento de los filones auro-argentíferos. El área se definió en base a valores anómalos de oro, plata, cobre y molibdeno (Planchas 2, 3 y 4). Estos elementos presentan una relación bastante directa tanto en los filones como en la roca encajante.

En los filones incorporados dentro de la zona anómala el oro varía entre 4.8 y 25.8 ppm y la plata entre 7 y 300 ppm. En la roca encajante el oro varía entre 0.4 y 19.2 ppm y la plata entre 7 y 1.000 ppm. Los valores incluso dentro de la roca encajante son bastante elevados y hacen pensar en la posibilidad de una explotación a cielo abierto. Esto sin embargo estaría sujeto a las siguientes condiciones: 1) Realización de un muestreo más detallado del área incluyendo muestras de perforación. 2) Mejoramiento de los métodos actuales de extracción y recuperación del oro y la plata y 3) Incremento progresivo del precio de estos dos metales.

El cobre y molibdeno aunque muestran valores anómalos no son suficientemente altos aún para ser considerados como subproductos de una posible explotación.

## ANOMALIA DE SAN ANTONIO

La anomalía está localizada en los alrededores del sitio de La Baja entre las quebradas San Antonio y San Juan.

El área muestra igualmente indicios de alteración hidrotermal, esencialmente silicificación. Un hecho interesante en esta zona es la presencia de minerales de uranio en el filón de San Celestino.

El área se limita en base a valores anómalos de oro, cobre y molibdeno. Los valores anómalos de plata cubren un área muy reducida (Planchas 2, 3 y 4). Dentro del área, los valores de oro son bajos comparados con los de La Angostura mientras se nota un incremento en el contenido de cobre y molibdeno. En los filones el cobre varía de 200

a 15.000 ppm y el molibdeno de 50 a 150 ppm mientras en la roca encajante se presentan valores de 200 a 2.000 ppm de cobre y de 15 a 100 ppm de molibdeno. El oro muestra valores de 0.3 a 9.3 ppm en filones y de 0.1 a 1.2 ppm en las rocas encajantes. De estos valores se deduce que el área es esencialmente anómala para cobre.

La Nippon Mining Company (Report of Prospection of the California Mines, July 1967; Informe en los archivos del Servicio Geológico Nacional Bogotá), calculó las reservas en 40.400 toneladas de mineral de cobre con tenor de 1.24 % , en el área de San Antonio.

Las reservas parecen insuficientes para considerar el área como depósito económico de cobre y por el momento no se justifican nuevos trabajos de prospección.

#### ANOMALIA DEL CHORRERON

Localizada en la quebrada Chorrerón unos 2 km al noreste del municipio de California.

En el área aflora una roca granítica con variaciones a facies porfiríticas. Se observa una fuerte silicificación acompañada de metalización; esencialmente consiste de piritita y menor proporción de calcopirita y bornita. No se detectó la presencia de filones auro-argentíferos similares a los de las áreas de San Antonio y La Angostura.

El área se limitó en base a valores anómalos de cobre el cual muestra en la roca variaciones entre 300 y 15.000 ppm y molibdeno con valores entre 15 y 300 ppm. El oro muestra valores relativamente bajos comparados con los de San Antonio y La Angostura y varía entre 0.1 y 0.4 ppm. La plata prácticamente desaparece como elemento anómalo (Planchas 2, 3 y 4).

En la Quebrada Tiguarí, 1 km al noreste del Chorrerón se presentan condiciones similares siendo posible que la anomalía se extienda a algunos sitios comprendidos entre estas dos quebradas. Esto se infiere por la presencia de suelos altamente limoníticos y la silicificación acompañada de abundante piritita vista en bloques rodados y en los escasos afloramientos existentes en el área.

El área en general muestra fuerte piritización pero los sulfuros de cobre son

muy escasos y locales. Esto se refleja en la zona de oxidación donde los productos secundarios de cobre son muy esporádicos. Podría intentarse un muestreo de las limonitas para analizar su contenido de cobre y determinar si fue derivada de sulfuros de cobre.

La zona anómala aunque muestra algunos aspectos interesantes no parece ser la expresión de un depósito económico para cobre.

#### ZONACION

De la evaluación de las anomalías se puede inferir cierta zonación de los elementos dentro del área de California. En la parte noreste, zona de La Angostura, el oro y la plata son elementos predominantes y cobre y molibdeno aparecen subordinados. En la zona central, área de La Baja, se observa una notable reducción en los valores del oro y los valores de plata son muy bajos y solo aparecen localmente, en tanto que el cobre y molibdeno llegan a ser elementos importantes. Al suroeste, área del Chorrerón, el oro está completamente subordinado, la plata prácticamente desaparece y cobre y molibdeno son los elementos más importantes. Más al suroeste en las inmediaciones del Río Vetas las anomalías son casi exclusivamente de molibdeno.

#### CONCLUSIONES

1. El área de California es un ejemplo de mineralización hidrotermal auro-argentífera con carácter típicamente filoniano. Con excepción de los filones, en las actuales condiciones de beneficio el resto de mineralización primaria es subeconómica, aun cuando con métodos adecuados de tratamiento podría intentarse la recuperación de subproductos como cobre, plomo y zinc.
2. La presencia de zonas hidrotermales alteradas y la adición de pequeñas cantidades de minerales de cobre, molibdeno, plomo, zinc, arsénico, antimonio y mercurio, asociados con el oro y la plata, sugieren que la metalización está relacionada con una fuente magmática subyacente, expresada en superficie como diques y pequeños stocks de roca porfirítica.
3. Un control físico-químico reguló la distribución de los fluidos mineralizantes. El principal período de mineralización se

relaciona al menos espacialmente con fallas post-intrusivas. Los diagramas rosa para filones y fracturas comprueban una asociación entre control estructural y mineralización filoniana. La alteración de la roca encajante, principalmente silicificación y sericitación, demuestra la importancia de los procesos químicos durante la depositación de las soluciones.

4. El contenido metálico en las rocas encajantes de filones mineralizados demuestra una dispersión de oro, plata, cobre, molibdeno, plomo y zinc, desde las venas hacia la roca. Una distribución espacial (District zoning) de estos elementos se presenta en la zona estudiada.

5. El principal mecanismo durante la depositación de las soluciones minerales fue el relleno de aberturas, acompañado por un ligero reemplazamiento. Las fisuras corresponden a sistemas de fractura que han sido reabiertos repetidamente, ocasionando brechación y permitiendo la entrada de los fluidos residuales.

6. En California la mineralización primaria, esencialmente ocurrió bajo condiciones mesotermales a epitermales, pudiendo ser contemporánea o posiblemente más joven que los cuerpos de pórfido con los cuales se muestra asociada.

7. La pirita y algo de arsenopirita son los principales portadores de oro, el cual aparentemente debe encontrarse como partículas de tamaño submicroscópico. Los resultados de los análisis sugieren que en zonas de oxidación adyacentes a filones mineralizados, el oro puede presentarse como pseudomorfo de hematita-goetita. Estas zonas sirven como guía durante la fase exploratoria inicial y suelen explotarse por presentar cierta proporción de oro libre.

8. Además de los filones, los resultados geoquímicos revelan la presencia de 3 áreas de interés, definidas en base a valores anómalos de oro, plata, cobre y molibdeno, tanto en los filones como disseminados en la roca encajante. Estas corresponden a las anomalías de La Angostura, San Antonio y Chorrerón. La primera eventualmente podría ser explotada a cielo abierto previa realización de trabajos más detallados de prospección. En Chorrerón llama la atención la alteración hidrotermal y los esporádicos valores de cobre.

9. La evaluación de los resultados geoquímicos demuestra la estrecha relación del oro con elementos tales como mercurio, arsénico y antimonio. De estos el arsénico parece el más indicado para ser utilizado como elemento guía en la prospección de oro bajo condiciones geológicas similares. Esto puede ser de gran ayuda en el área de Cachirí donde actualmente se adelantan trabajos de prospección geoquímica por parte del INGEOMINAS.

## BIBLIOGRAFIA

BARNES, H.L. ed., 1967.- *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits: New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc.*, 670 p.

BATEMAN, A.M., 1961.- *Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico: Barcelona, Ed. Omega*, 975 p.

BOYLE, R.W., 1969.- *Hydrothermal Transport and Deposition of Gold: Econ. Geol. v. 64, p. 112-115.*

BRIANT, D.G., and METZ, H.E., 1971.- *Geology and Ore Deposits of the Warren Mining District, in Geology of the Porphyry Copper Deposits Southwestern North America: Univ. Arizona Press, Third Printing, p. 189-203.*

BUENO, J.A., 1955a.- *Yacimientos de Uranio y otros Metales en la Región de La Baja, Municipio de California, Depto. de Santander: Colombia, S.G.N., Bol. Geol. v. III, No. 3, p. 1-83.*

—, 1955b.- *Estudios Preliminares de Tratamiento del Mineral Urano-argentífero de San Celestino: Colombia, S.G.N., Bol. Geol. v. III, No. 3, Anexo 3, p. 1a-21a.*

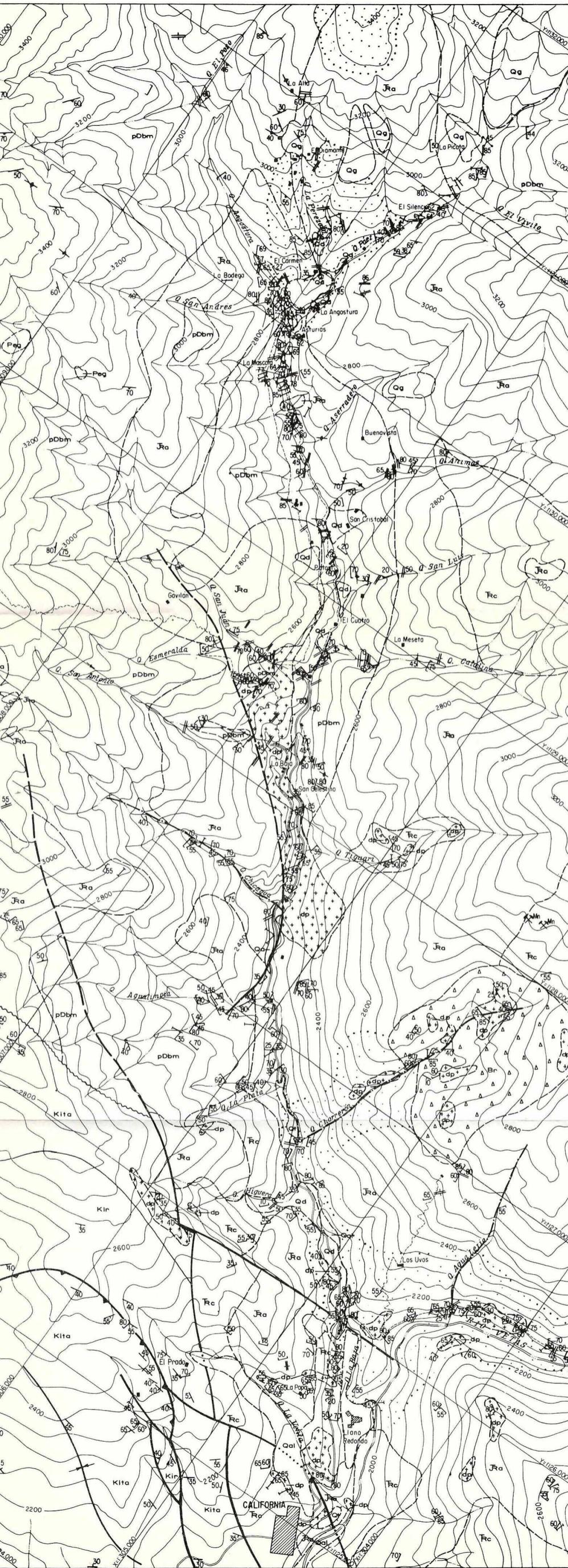
CLOKE, P.L. and KELLY, W.C., 1964.- *Solubility of Gold Under Inorganic Supergene Conditions: Econ. Geol., v. 59, p. 259-270.*

CHAMPETIER DE RIBES y ALVAREZ A., 1961.- *Informe de la Comisión de Reconocimiento en la Región California-Vetas, Depto. de Santander: Colombia, S.G.N., Inf. 1374, 18 p.*

DUARTE, A.H., 1966.- *Las minas de Oro en Santander y sus Posibilidades: U.I.S. (Colombia). Cimet, v. 2, No. 2, p. 12-16.*

- GUERRA C., DUARTE H. y HERNANDEZ H., 1971.- *Desarrollo Minero California y Vetas. Tecnificación Mina "Reina de Oro": III Congreso Nacional de Minería, U.I.S. (Colombia). Memorias tomo II, p. 50-73.*
- HAMILTON, W. and MYERS, B., 1967.- *The Nature of Batholiths: U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 554-C, 29 p.*
- HAWKES, H.E. and WEBB, J.S., 1962.- *Geochemistry in Mineral Exploration: New York, Harper and Row, 415 p.*
- HELGESON, H.C. and GARRELS, R.M., 1968.- *Hydrothermal Transport and Deposition of Gold: Econ. Geol., v. 63, p. 622-635.*
- JULIVERT, M. y TELLEZ, N., 1963.- *Sobre la Presencia de Fallas de Edad Precretácica y Post-Girón (Jura-Triásico) en el Flanco Oeste del Macizo de Santander (Cord. Oriental, Colombia): U.I.S. Bol. de Geología No. 12, p. 5-17.*
- JULIVERT, M. et al, 1968.- *Lexique Stratigraphique International Amerique Latine: Centre National de La Recherche Scientifique, v. V, fascicule 4 a Colombie (Premiere partie), 615 p.*
- KESLER, STEPHEN, E., 1972.- *Copper, Molybdenum and Gold Abundances in Porphyry Copper Deposits: Econ. Geol. v. 67, p. 106-112.*
- LEPELTIER, C., 1969.- *A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation: Econ. Geol., v. 64, p. 538-550.*
- LOWELL, J.D. and GUILBERT, J.M., 1970.- *Lateral and Vertical Alteration Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits: Econ. Geol., v. 65, p. 373-408.*
- MAUREL, C., 1973.- *Mechanism of Hydrothermal Sphalerite Galena Replacement at 300°C: Econ. Geol., v. 68, p. 665-670.*
- MEYER, CH. and HEMLEY, J., 1967.- *Wall Rock Alteration, in Barnes H.L. ed., Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits: New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc., p. 166-235.*
- NIPPON MINING CO., LTD., 1967.- *The Report of the Prospection of the California Mine: Unpublished Company Report.*
- PATTON, T.C., GRANT, A.R. and CHENEY E.S., 1973.- *Hydrothermal Alteration at the Middle Fork Copper Prospect, Central Cascades, Washington: Econ. Geol. v. 68, p. 816-830.*
- PAGGNACO, P.F., 1962.- *Estudio Mineralogénico del Filón Uranífero San Celestino (California, Santander): Colombia, U. Nal., Geología Colombiana, No. 1, p. 45-54.*
- PARK, CH.F. and McDIARMID, R.A., 1970.- *Ore Deposits: San Francisco, W.H. Freeman and Company, Second Edition, 522 p.*
- PETERSON, DONALD W., 1961.- *Igneous Rocks Classification: Washington, A. G.I., Geotimes, v. 5, No. 1.*
- RADKE, A.S. and SCHNEINER, B.J., 1970.- *Studies of Hydrothermal Gold Deposition (I). Carlin Gold Deposit, Nevada: The Role of Carbonaceous Materials in Gold Deposition: Econ. Geol., v.65, p. 87-102.*
- RESTREPO, V., 1937.- *Estudio sobre las Minas de Oro y Plata de Colombia: Escuela Nacional de Minas, Medellín, Anales No. 43.*
- ROSE, ARTHUR W., 1970.- *Zonal Relations of Wallrock Alteration and Sulfide Distribution at Porphyry Copper Deposits: Econ. Geol., v. 65, p. 920-936.*
- STANTON, R.L., 1972.- *Ore Petrology: New York, McGraw Hill, 713 p.*
- STRINGHAM BRONSON, 1960.- *Differences Between Barren and Productive Intrusive Porphyry: Econ. Geol., v. 55, p. 1622-1630.*
- SILLITOE, R. H., 1973.- *The Tops and Bottoms of Porphyry Copper Deposits: Econ. Geol., v. 68, p. 799-815.*
- TILLING, R.L., GOTTFRIED, D. and ROWE, J., 1973.- *Gold Abundance in Igneous Rocks: Bearing on Gold Mineralization: Econ. Geol., v. 68, p. 168-186.*

- TITLEY, S.R. and HICKS, C.L., 1971.- *Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America: The University of Arizona Press, Third Printing, 287 p.*
- VONRAHDEN, H.V., 1965.- *Apparent fineness Values of Gold from two Witwatersrand Gold Mines: Econ. Geol. v.60, p. 980-997.*
- WARD, D.E., GOLDSMITH, R., CRUZ, J., JARAMILLO L. y VARGAS, R., 1970.- *Mapa Geológico del Cuadrángulo H-13, Pamplona: Colombia. Ministerio de Minas y Petróleos -Inst. Nal. Inv. Geol. Min.*
- WARD, D.E., GOLDSMITH, R., CRUZ, J. y RESTREPO H., 1971.- *Recursos Minerales de Parte de los Departamentos de Norte de Santander y Santander: Colombia, Inventario Minero. Tomo III.*
- , GOLDSMITH, R., CRUZ, J. y RESTREPO H., in press, *Geology and Mineral Resources of the Southern Half Zone III, Santander and Boyacá, Colombia: Inst. Nal. Inv. Geol. Min., Bull.*
- WEBER, W. and STEPHENSON, J.F., 1973.- *The Content of Mercury and Gold in some Archean Rocks of the Rice Lake Area: Econ. Geol., v. 68, p. 401-407.*
- WELLS, J.D. and MULLEN, T.E., 1973.- *Gold-bearing Arsenian Pyrite Determined by Microprobe Analysis, Cortez and Carlin Gold Mines, Nevada: Econ. Geol., v. 68, p. 187-201.*
- WEISSBERG, B.G., 1970.- *Solubility of Gold in Hydrothermal Alkali Sulfide Solutions: Econ. Geol., v. 65, p. 551-556.*
- WHITE, W.H., 1943.- *The Mechanism and Environment of Gold Deposition in Veins: Econ. Geol., v. 38, p. 512-532.*
- WINKLER, H.G., 1967.- *Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Revised 2nd ed., New York, Springer-Verlag, 237 p.*
- WOKITTEL, R., 1954.- *Recursos Minerales de las Zonas Alta, Baja y Vetas en el Municipio de California, Depto. de Santander: Colombia, S.G.N. Inf.1030.*



**CONVENCIONES**

**ROCAS SEDIMENTARIAS**

- Colas
- Aluvion
- Terraça
- Deposito glaciær
- Derrubio

- Formación Rosablanca
- Formación Tambor

**ROCAS IGNEAS**

- Perfido Dacítico
- Pegmatita
- Alasquita
- Cuarzo Diorita

**ROCAS METAMORFICAS**

- Formación Bucoramanga (Migmatitas)

**CONTACTOS**

- Definidos en el campo
- Gradacionales o inciertos
- Discordantes
- FALLAS**
- Definidos en el campo
- Inferidos
- De cabalgamiento

**DIACLASAS**

- Inclinaðas
- Verticales

**FILONES**

- Inclinaðas
- Verticales

**ESTRUCTURAS**

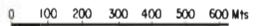
- Anticinal
- Sinclinal

**RUMBOS Y BUZAMIENTOS**

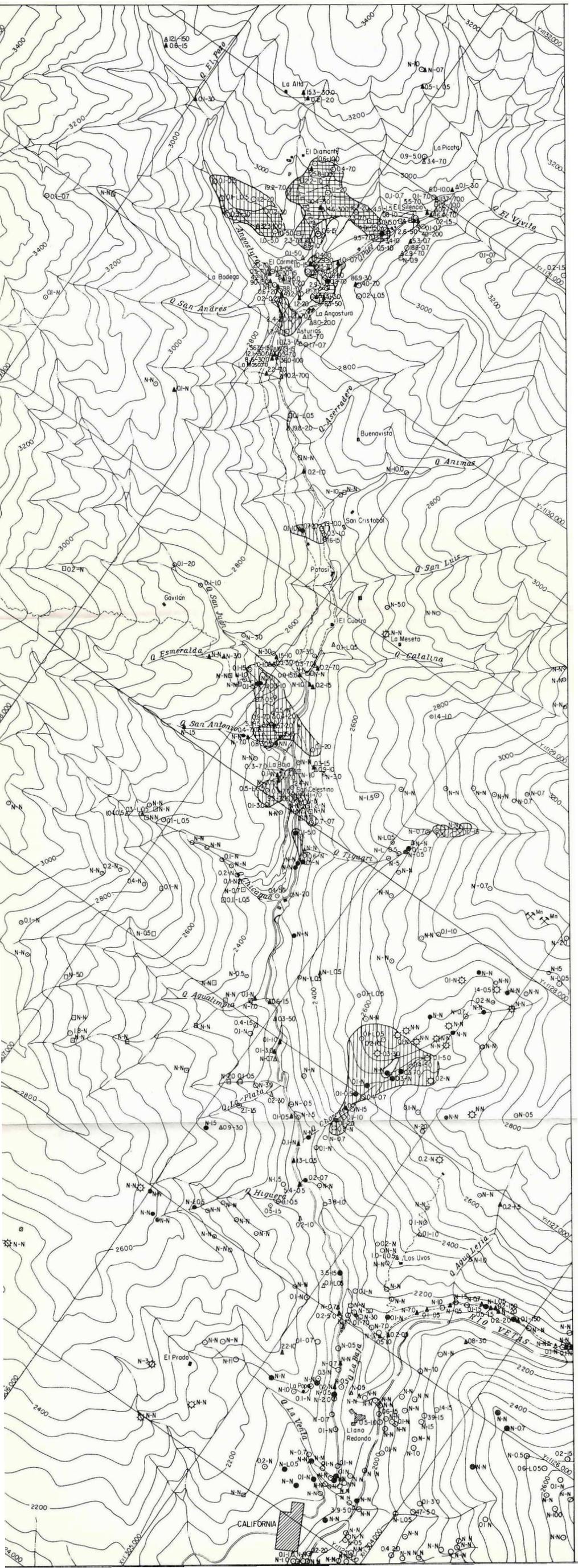
- Medidos en el campo
- Inclinaðas
- Verticales
- Invertidos

**FOLIACIONES**

- Inclinaðas
- Verticales
- Lineamientos
- Diques
- Silicificaciòn, alteraciòn arcillosa
- Zona de brecha
- Mina de manganeso



**MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE CALIFORNIA**



### CONVENCIONES

Tipo de roca

- Sedimentario ☼
- Metamórfico □
- Pórfido ●
- Granito ○
- Filones {
  - ▲ Zona de oxidación
  - ▲ Sulfuros primarios

- ▲ 53 20 El primer valor corresponde a Au en p.p.m(Absorción Atómica)-El segundo a Ag en p.p.m (Espectrográfico)
- N Valor no detectado
- L Valor detectado pero por debajo del límite de detección

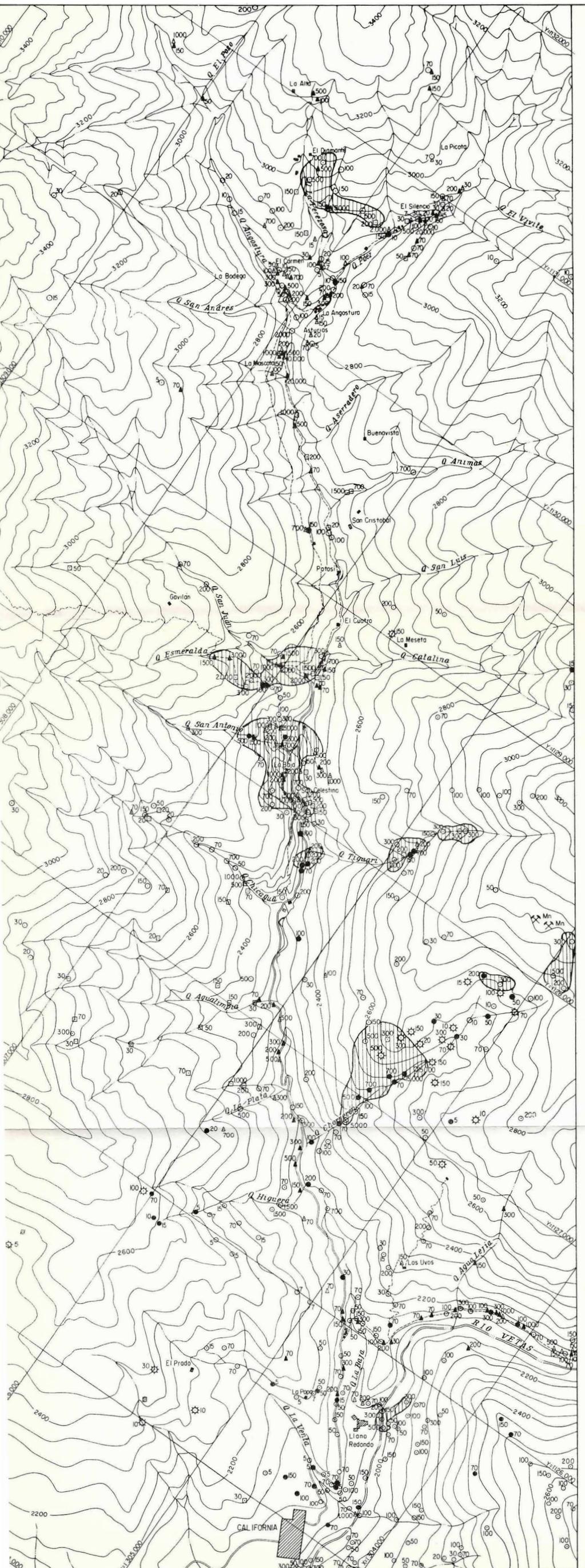
- Areas dentro de las cuales las muestras de roca presentan valores anómalos
  - Filones Au  $\geq 3$  p.p.m
  - Roca encajante Au  $\geq 0.1$  p.p.m
  - Filones Ag  $\geq 15$  p.p.m
  - Roca encajante Ag  $\geq 3$  p.p.m

☼ Mn Mina de manganeso

100 200 300 400 500 600 Mts

## PROSPECCION GEOQUIMICA DEL AREA DE CALIFORNIA

CONTENIDO DE ORO Y PLATA EN ROCAS



### CONVENCIONES

Sedimentario	☆
Metamórfico	□
Pórfido	●
Granito	○
Filones	△ Zona de oxidación
	▲ Sulfuros primarios

▲ 500 Valor de Cu. en ppm (Espectrografía)

Areas dentro de las cuales las muestras de roca presentan valores anómalos

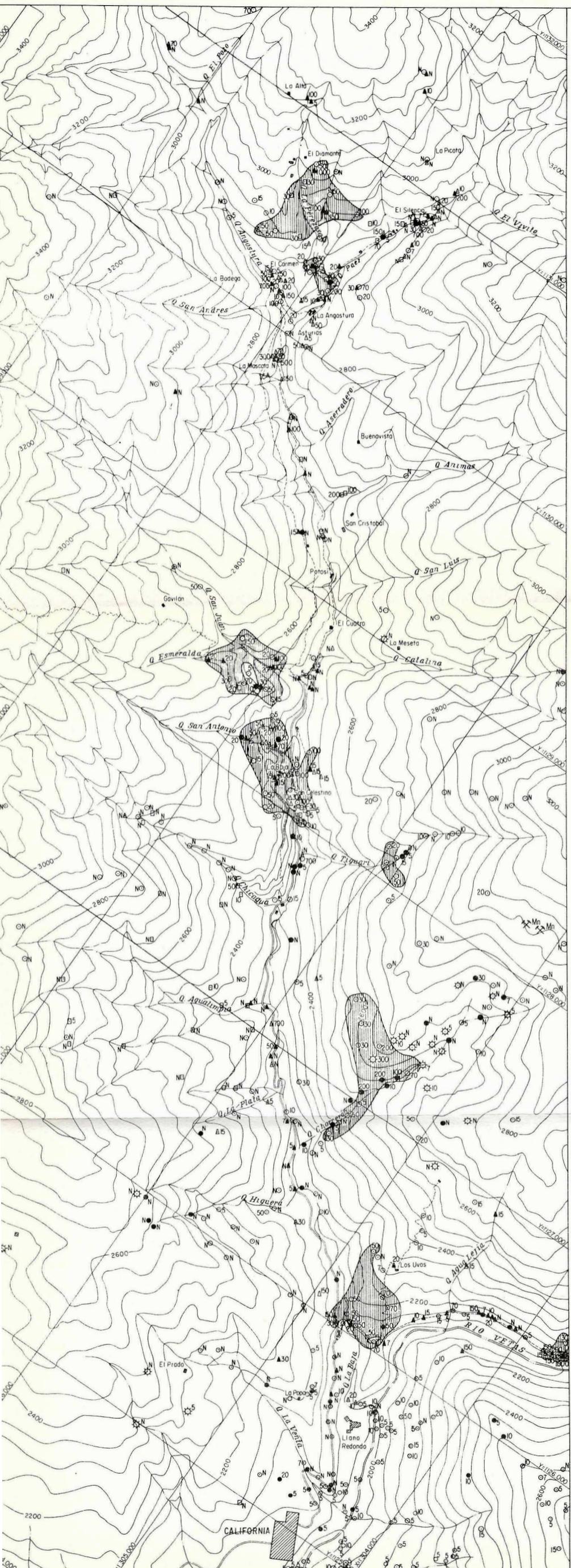
Filones Cu ≥ 500 p.p.m.  
 Roca encajante Cu ≥ 200 p.p.m.

✕ Mn Mina de Manganeso

100 200 300 400 500 600

## PROSPECCION GEOQUIMICA DEL AREA DE CALIFORNIA

CONTENIDO DE COBRE EN ROCAS



## CONVENCIONES

### GEOLOGICAS

Tipo de roca	Sedimentario	☆
	Metamórfico	B
	Porfido	●
	Granito	○
	Filones	▨
	Zona de oxidación	▲
	Sulfuras primarias	▲

▲ 100 Valor de Mo En p.p.m. (Espectrografia).

N Valor no detectado

L Valor detectado pero por debajo del límite de detección

Areas dentro de las cuales las muestras de roca presentan valores anómalos. (▨) Filones Mo ≥ 50 p.p.m.  
(▨) Roca encajante Mo ≥ 15 p.p.m.

✕ Mn Mina de manganeso

0 100 200 300 400 500 600 Mts.

## PROSPECCION GEOQUIMICA DEL AREA DE CALIFORNIA

CONTENIDO DE MOLIBDENO EN ROCAS

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGICO-MINERAS

**ESTUDIO GEOQUIMICO EN EL AREA PANTANOS - PEGADORCITO,  
MUNICIPIOS DE FRONTINO Y DABEIBA, ANTIOQUIA**

INFORME 1633

Por:

OCTAVIO RAMIREZ A. Y ALFONSO ARIAS T.  
Ingeominas

y

HENRY V. ALMINAS Y ELWIN L. MOSIER  
U. S. Geological Survey

Con la colaboración de:

LUIS JARAMILLO Y TAISSIR KASSEM

BOGOTA, 1976

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	57
INTRODUCCION . . . . .	57
LOCALIZACION Y EXTENSION . . . . .	59
VIAS DE ACCESO . . . . .	59
PERSONAL TECNICO PARTICIPANTE . . . . .	61
AGRADECIMIENTOS . . . . .	61
GEOGRAFIA . . . . .	61
GEOLOGIA . . . . .	63
GENERALIDADES . . . . .	63
GEOLOGIA REGIONAL . . . . .	63
TIPOS DE ROCAS . . . . .	63
CUARZODIORITA . . . . .	66
ROCAS PORFIRITICAS . . . . .	66
<i>Pórfido Tipo A</i> . . . . .	68
<i>Pórfido Tipo B</i> . . . . .	68
<i>Pórfido Tipo C</i> . . . . .	70
BRECHAS INTRUSIVAS . . . . .	71
ROCAS CATACLASTICAS . . . . .	71
RASGOS ESTRUCTURALES . . . . .	72
MINERALIZACION Y ALTERACION . . . . .	75
MINERALIZACION . . . . .	75
ALTERACION . . . . .	77
PROSPECCION GEOQUIMICA . . . . .	77
SEDIMENTOS FINOS . . . . .	78
CONCENTRADOS DE BATEA . . . . .	78
ROCAS . . . . .	78
SUELOS . . . . .	78
RESULTADOS GEOQUIMICOS . . . . .	78
DISTRIBUCION DEL COBRE . . . . .	80
ROCA . . . . .	80
SUELOS . . . . .	80
SEDIMENTOS FINOS . . . . .	80
CONCENTRADOS DE BATEA . . . . .	84
DISTRIBUCION DEL MOLIBDENO . . . . .	84
ROCA . . . . .	84
SUELO . . . . .	84
SEDIMENTOS FINOS . . . . .	84
CONCENTRADOS DE BATEA . . . . .	84
OTROS ELEMENTOS . . . . .	84
PLATA . . . . .	84
MERCURIO . . . . .	86
COBRE EXTRAIBLE ENFRIO . . . . .	86
PERFORACIONES . . . . .	86
RESULTADOS DE LAS PERFORACIONES . . . . .	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	88
REFERENCIAS CITADAS . . . . .	88

## FIGURAS

1. Mapa índice - Localización del area Pantanos-Pegadorcito . . . . .	58
2. Localización de transversas geoquímicas y geológicas en la Cordillera Occidental . . . . .	60
3. Promedio de lluvia mensual . . . . .	62

	<u>Página</u>
4. Mapa geológico generalizados de la parte norte de la Cordillera Occidental . . .	64
5. Mapa geológico generalizado del área Pantanos - Pegadorcito. . . . .	65
6. Mapa fotogeológico detallado del área Pantanos - Pegadorcito . . . . .	73
7. Diagrama rosa mostrando las direcciones de diaclasas en el área de Pantanos - Pegadorcito. . . . .	74
7A. Diagrama rosa mostrando las direcciones de diaclasas en el área de Pantanos - Pegadorcito. . . . .	74
8. Relación entre los tipos de roca en el área cartografiada y su contenido de cobre determinado espectrográficamente . . . . .	76
9. Histogramas de distribución de cobre. Resultados espectrográficos . . . . .	81
10. Anomalías de cobre en rocas . . . . .	82
11. Anomalías de cobre en suelos . . . . .	83
12. Histogramas de distribución de molibdeno. Resultados espectrográficos . . . .	85
13. Relación entre el contenido de cobre total y cobre extraíble en frío en sedimentos finos. . . . .	87
14. Pozo No. 3 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos. Análisis por absorción atómica . . . . .	90
15. Pozo No. 4 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos. Análisis por absorción atómica . . . . .	91
16. Pozo No. 5 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos. Análisis por absorción atómica . . . . .	92
17. Pozo No. 6 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos y lodos. Análisis espectrográfico . . . . .	93
18. Pozo No. 7 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos y lodos. Análisis por absorción atómica . . . . .	94
19. Pozo No. 8 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos y lodos. Análisis por absorción atómica . . . . .	95
20. Pozos No. 9 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos y lodos. Análisis por absorción atómica . . . . .	96
21. Pozo No. 10 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos y lodos. Análisis por absorción atómica . . . . .	97
22. Pozo No. 11 - Pantanos. Cobre en muestras de núcleos y lodos. Análisis por absorción atómica . . . . .	98

#### TABLAS

1. Análisis modal de la cuarzodiorita (porcentaje por volumen) . . . . .	67
2. Análisis modal del pórfido tipo A . . . . .	69
3. Análisis modal de los pórfidos tipo B y C . . . . .	70
4. Distribuciones geoquímicas en el área de Pantanos - Pegadorcito. . . . .	79

## RESUMEN

Como resultado del programa de reconocimiento geoquímico de la Cordillera Occidental, iniciado por el INGEOMINAS en el año de 1970, se localizaron varias áreas de interés por sus contenidos anómalos de cobre y elementos asociados.

Posteriormente se acordó adelantar trabajos en detalle sobre estas áreas, iniciándolos en la región de Pantanos-Pegadorcito. Este tipo de trabajos comprendió el muestreo geoquímico sobre un área de aproximadamente 140 km<sup>2</sup> en la cual se colectaron y analizaron 981 muestras de roca, 1.199 muestras de suelo, 1.502 muestras de sedimentos finos y 934 muestras de concentrados de batea. Además se efectuó la cartografía geológica a escala 1:10.000 de 13 km<sup>2</sup> y se perforaron 556 metros distribuidos en 9 pozos.

Las relaciones geológicas conocidas en la parte norte de la Cordillera Occidental indican que una secuencia sedimentaria-volcánica de edad cretácica ha sido intruida por el Batolito de Mandé, de composición cuarzodiorita-diorita, y plutones menores considerados de edad terciaria media.

En el área Pantanos-Pegadorcito, la cuarzodiorita, que tentativamente se ha considerado como parte del Batolito de Mandé, ha sido cortada a su vez por cuerpos de pórfidos cuarzodioríticos que fueron agrupados en tres tipos, con pequeñas diferencias entre sí. Además de estas rocas, se cartografiaron parcialmente varios cuerpos de brecha intrusiva.

Alteración sericitica y en menor proporción la argílica y silicificación se observan preferencialmente en los pórfidos; la cuarzodiorita muestra generalmente alteración propílica. La alteración potásica solo se observó muy localmente y pobremente desarrollada.

Pirita, calcopirita y bornita en forma diseminada y en venillas se presentan preferencialmente en el pórfido tipo A y en la cuarzodiorita cerca al contacto con los pórfidos; de las rocas cartografiadas, la brecha intrusiva es la menos mineralizada.

La prospección geoquímica detallada permitió la delimitación de dos zonas anómalas para cobre y molibdeno. La zona más

extensa tiene una longitud aproximada de 5,0 km y ancho promedio de 500 m y está relacionada con el Cerro Pantanos; la segunda zona está localizada 1,5 km al noroeste de la primera y tiene una longitud de 1 km y ancho promedio de 500 m.

Las perforaciones efectuadas indicaron la presencia de mineralización de cobre en las zonas anómalas detectadas por geoquímica y la ausencia de valores significativos de cobre en los pozos perforados lejos de dichas zonas.

Por las observaciones litológicas, estructurales, de mineralización, alteración y por las anomalías geoquímicas reconocidas en Pantanos-Pegadorcito, se puede concluir que el área presenta características muy favorables para el desarrollo de un depósito de pórfido cuprífero cuyo verdadero potencial económico queda aún por determinar.

## INTRODUCCION

En el año 1970 el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, INGEOMINAS, a través de la Oficina Regional de Medellín, inició un programa de reconocimiento geoquímico y geológico a escala regional en la parte norte de la Cordillera Occidental con miras a determinar la existencia de posibles zonas anómalas para cobre, molibdeno, plomo, zinc, níquel, cromo, platino y otros metales. Este programa fue financiado parcialmente por la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID).

La Cordillera Occidental es una cadena montañosa con dirección norte-sur que se extiende desde el Macizo de Almaguer en la parte sur de Colombia hasta las llanuras de la Costa Atlántica. Corre más o menos paralela a la Costa Pacífica colombiana, aproximadamente 100 km tierra adentro (fig. 1) y presenta elevaciones que van desde cerca del nivel del mar hasta por encima de los 4.600 m.

La mitad norte de la cordillera está limitada al oeste por las hoyas de los ríos San Juan y Atrato y al este por el río Cauca. Corresponde a una zona de alta pluviosidad con precipitaciones promedias entre 3.000 y 9.000 mm por año en su vertiente occidental y de 1.500 a 3.000 mm en su vertiente oriental (Atlas de Colombia, 1967). Sus elevaciones mayores en esta parte ocurren en los

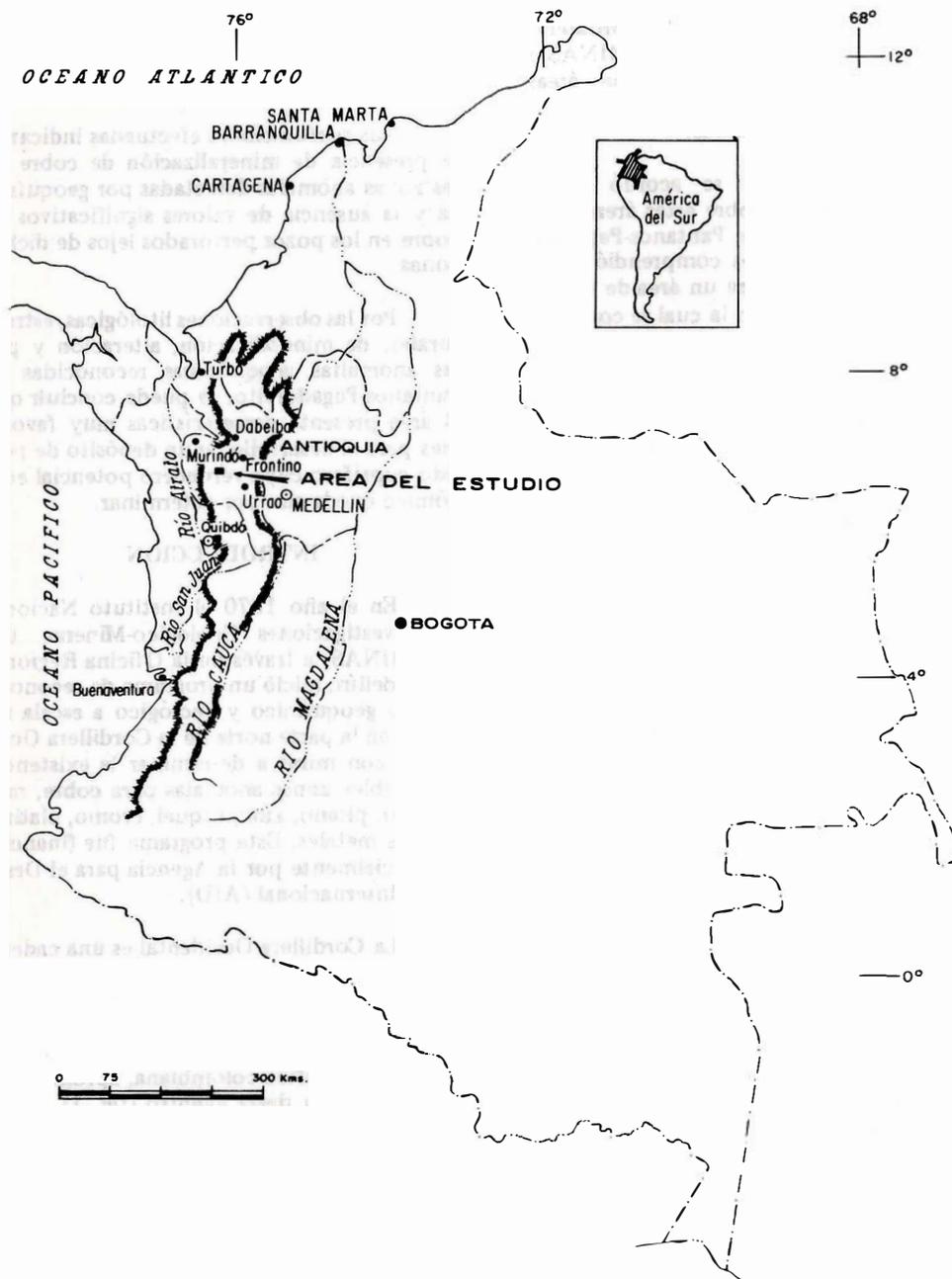


FIGURA 1. MAPA INDICE - LOCALIZACION DEL AREA PANTANOS - PEGADORCITO

páramos de Frontino y Paramillo con alturas de 4.080 y 3.960 m respectivamente.

Gran parte de la cordillera, y especialmente su vertiente occidental, está cubierta por densa selva tropical, lo que sumado a la falta de vías de comunicación, hace que el transporte se efectúe primordialmente a lo largo de los ríos. Dentro de los ríos navegables merece consideración especial el río Atrato, el cual, con relación a su longitud (aproximadamente 750 km), es considerado como uno de los ríos más caudalosos del mundo. Es navegable a vapor desde la ciudad de Quibdó y en repetidas ocasiones se ha considerado como posible vía para la construcción de un canal interoceánico a nivel (Atlantic - Pacific Interoceanic Canal Study Commission, 1968).

Debido a la alta pluviosidad, densa selva y pobre accesibilidad, la información geológica disponible sobre la Cordillera Occidental es más escasa que sobre cualquiera otra parte de los Andes Colombianos. Las rocas dominantes corresponden a una secuencia eugeosinclinal cretácica compuesta de esquistos grafitosos, esquistos calcáreos, cherts y pizarras silíceas cubiertas por derrames de diabasas (Nelson, 1962). Se presentan además algunas rocas volcánicas y sedimentarias de edad terciaria y plutones graníticos a dioríticos de edad terciaria (Irving, 1971). Nelson (1962) y López y otros (1969) han postulado que la estructura mayor de la cordillera es un complejo anticlinal fallado.

Durante el programa de reconocimiento se efectuaron 17 perfiles geoquímicos y geológicos en transversas de dirección general este - oeste, normalmente paralelas a las corrientes mayores, tomándose muestras de sedimentos finos y concentrados de batea en los ríos mayores y sus tributarios (fig.2). Las 17 transversas localizadas a intervalos de 10 a 30 km y con una longitud total aproximada de 1.600 km, cubrieron un área que va desde el río Jiguamiandó al norte hasta el río Munguindó al sur. Se colectaron 1.722 muestras de sedimentos activos finos y 1.217 de concentrados de batea.

En los laboratorios del INGEOMINAS de Bogotá se efectuaron análisis espectrográficos semicuantitativos para 33 elementos, utilizando la fracción menos malla 80 de los

sedimentos finos y las fracciones magnética y no magnética en los concentrados de batea.

El trabajo anterior permitió la localización de varias zonas anómalas que mostraron valores de cobre en sedimentos finos lo suficientemente promisorios para ser objeto de estudios geoquímicos detallados. Este tipo de estudios se inició en el área Pantanos-Pegadorcito donde se adelantaron, entre marzo de 1972 y agosto de 1973, trabajos de prospección geoquímica detallada, cartografía geológica y perforación.

#### LOCALIZACION Y EXTENSION

El área Pantanos-Pegadorcito, municipios de Frontino y Dabeiba, está localizada en la parte oeste del departamento de Antioquia (fig. 1). Los trabajos de prospección geoquímica detallada se realizaron dentro de un polígono de aproximadamente 140 km<sup>2</sup> localizado en las planchas 128-II-B y 129-I-A, escala 1:25.000, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y cuyos vértices tienen las siguientes coordenadas:

Vértice A	X = 1.240.000	Y = 1.052.000
Vértice B	X = 1.240.000	Y = 1.068.000
Vértice C	X = 1.235.000	Y = 1.068.000
Vértice D	X = 1.230.000	Y = 1.064.000
Vértice E	X = 1.220.000	Y = 1.056.000
Vértice F	X = 1.235.000	Y = 1.052.000

La cartografía geológica se efectuó solo en la parte central de dicho polígono cubriendo las zonas donde se detectaron los mayores valores de cobre y molibdeno.

#### VIAS DE ACCESO

El acceso al área Pantanos-Pegadorcito se puede hacer por vía terrestre o aérea. Por vía terrestre se requieren de 3 a 4 días desde la ciudad de Medellín en un viaje en automotor, mula o a pie, combinado en la siguiente forma: el primer día se viaja en carro desde Medellín a Frontino durante 5 horas para un recorrido de 175 km de los cuales solo 34 están pavimentados. El segundo día se hace el recorrido de 48 km por carretera destapada entre Frontino y el Alto Cuevas (terminal de la carretera Nutibara - La Blanquita), con una duración de 2 horas y luego una jornada de 6-7 horas a lomo de mula desde el citado alto hasta el caserío La Blanquita. A partir de este caserío, las gentes de la región efec-



túan el viaje a pie hasta el área de Pantanos-Pegadorcito en 9 horas; sin embargo una persona poco entrenada debe hacer el viaje en dos jornadas con duración total de 12 - 14 horas.

Debido a las precarias condiciones de acceso por vía terrestre, el mejor medio de transporte actualmente es el helicóptero. El tiempo de vuelo es de aproximadamente 50 minutos desde Medellín, ó 25 desde Nutibara (Frontino).

#### PERSONAL TECNICO PARTICIPANTE

Los geólogos Héctor Castro P. y Alfonso Calderón C. efectuaron en 1970 la exploración geoquímica regional por medio de la travesía río Carauta-Pantanos-Alto Chajera-dó. Los análisis de las muestras colectadas indicaron la existencia de una zona anómala para cobre en el área de Pantanos.

En base a lo anterior, en marzo de 1972 se inició la exploración geoquímica del área con la participación de los siguientes geólogos: Alfonso Calderón C., Héctor Castro P., Octavio Ramírez A., Henry V. Alminas del U.S.G.S., Alfonso Arias T., Eufredo Escorce B., Jaime Cruz B., Eduardo Alvarez G. y Carlos Murillo A., indicados de acuerdo al número de días de campo en el área estudiada. La cartografía geológica fue iniciada en mayo de 1973 con la participación de los geólogos Octavio Ramírez A. y Eufredo Escorce B. del INGEOMINAS, Wally Griffiths y Maurice Brock de U.S.G.S.

El estudio fotogeológico del área Pantanos-Pegadorcito y zonas aledañas fue llevado a cabo por el geólogo Taissir Kassem B.

Los análisis espectrográficos y de absorción atómica fueron ejecutados en los laboratorios del INGEOMINAS en Bogotá, por los químicos Alvaro G. Baratto V., Víctor García G. y Lucy de Ferreira, con la asesoría del químico Elwin Mosier del U.S.G.S.

El estudio de secciones delgadas fue efectuado por el geólogo Humberto González I.

El transporte del personal y equipo fue efectuado en helicópteros de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) y de la empresa privada Helicol.

#### AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento especial a los geólogos Andrés Jimeno V. y Jaime Cruz B. por sus valiosas sugerencias y a los geólogos Taissir Kassem B. y Luis Jaramillo por su interés y colaboración prestada para la publicación de este informe.

Deseamos resaltar la valiosa colaboración prestada por las Fuerzas Armadas y en especial por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), sin cuyo apoyo habría sido sumamente difícil realizar este trabajo.

#### GEOGRAFIA

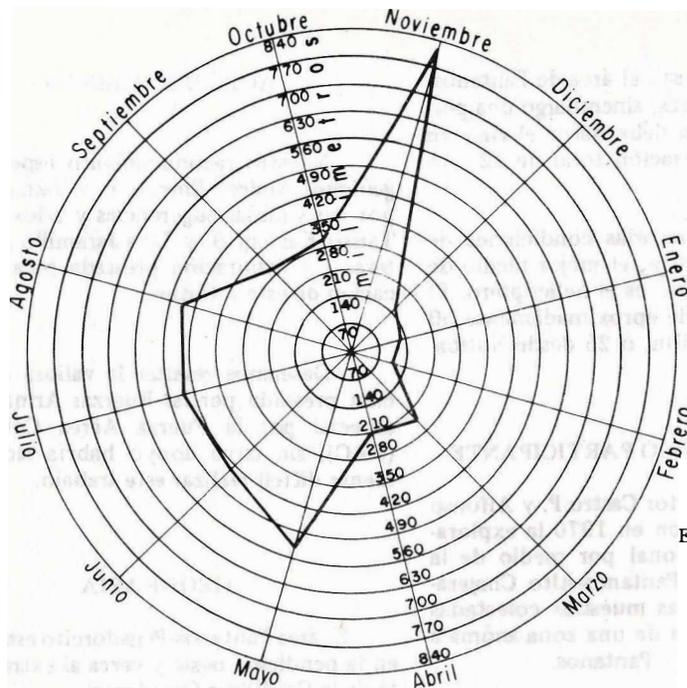
El área Pantanos-Pegadorcito está situada en la pendiente oeste y cerca al extremo norte de la Cordillera Occidental.

Exceptuando pequeñas aberturas (zonas desmontadas) en los alrededores de la quebrada Chontaduro y en el extremo norte del río Amparradó, toda el área está cubierta por espesa selva tropical. El clima es caliente, húmedo y lluvioso, con lluvias casi todos los días inclusive durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo que son los meses menos lluviosos. La Figura 3, muestra la precipitación promedio mensual en las estaciones de Murindó, Dabeiba y Urrao.

Aunque no se tiene ningún registro sobre la precipitación mensual en el área estudiada, por su localización en la vertiente oeste de la Cordillera Occidental, tentativamente se puede considerar que el promedio de lluvia mensual es similar al registrado en Murindó.

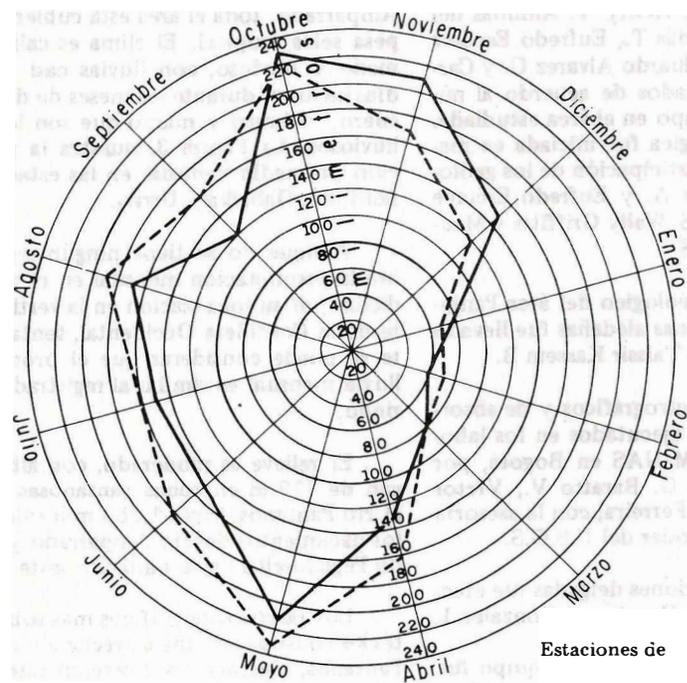
El relieve es moderado, con alturas que van de 770 m en zonas pantanosas aledañas al río Pantanos, hasta 1.350 m localizadas en los nacimientos del río Amparradó y quebrada Pegadorcito en la parte suroeste del área.

Los rasgos topográficos más sobresalientes los constituyen una estrecha colina, Cerro Pantanos, alargado en dirección este-nordeste y varios cerros con alturas de 1.050 m localizados hacia el límite norte del área. El Cerro Pantanos empalma hacia el oeste con



A

Estación de MURINDO  
(1949 - 1950)



B

DABEIBA  
(1944-1959)

URRAO  
(1949-1959)

Estaciones de

FIGURA 3. PROMEDIO DE LLUVIA MENSUAL EN MURINDO, DABEIBA Y URRAO

el Alto Chajeradó, en tanto que hacia el norte, sur y este se encuentra limitado por zonas planas.

El área está drenada por los ríos Amparadó, Pantanos y Chontaduro como cauces mayores, y una serie de tributarios menores que constituyen un drenaje dendrítico denso.

## GEOLOGIA

### GENERALIDADES

Debido a la carencia de mapas topográficos adecuados para un levantamiento geológico detallado sobre la anomalía geoquímica para cobre de Pantanos-Pegadorcito, este trabajo sólo pudo ser iniciado en mayo de 1973, cuando se obtuvo un mapa a escala 1:10.000 con curvas de nivel cada 10 m preparado para el INGEOMINAS por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Para agosto de 1973, fecha en que se conoció la determinación del Ministerio de Minas de suspender por parte del INGEOMINAS todas las actividades exploratorias en el área Pantanos - Pegadorcito, sólo se habían cartografiado 13 km<sup>2</sup>, correspondientes a parte de la zona anómala. Las descripciones de las unidades geológicas deben considerarse por tanto preliminares al igual que el mapa geológico que acompaña este informe.

Además, la intensa meteorización prevalentemente en el área, que limita la ocurrencia de afloramientos a los cauces y primordialmente a las cabeceras de las quebradas, y lo complejo de la geología, dificultan notablemente la determinación de las relaciones litológicas y estructurales existentes en el área. Como consecuencia de ello, los contactos entre las diferentes unidades cartografiadas son sólo aproximados y proyectados a través de las colinas con base en la información obtenida en las quebradas.

### GEOLOGIA REGIONAL

Las relaciones geológicas conocidas en la parte norte de la Cordillera Occidental indican la existencia de una secuencia sedimentario-volcánica cretácica (Grupo Cañasgordas) cortada por un gran cuerpo intrusivo y plutones menores del Terciario; hacia el extremo oeste se presentan rocas sedimentarias del Terciario y aluviones del Cuaternario (fig. 4).

La formación sedimentaria cretácica está compuesta por lutitas y limolitas con intercalaciones de grauvacas, cherts y localmente cuerpos de diabasa (Mosquera, 1971; Alvarez E., 1971). La formación volcánica está constituida por rocas andesíticas y basálticas que presentan variaciones texturales desde afáníticas hasta porfiríticas con algunas intercalaciones de chert y grauvaca (Mosquera, 1971; Alvarez E., 1971). Los sedimentos terciarios están constituidos por arcillolitas y areniscas grauvácicas intercaladas con bancos de conglomerados y calizas (Alvarez, A. J., 1971).

El mayor cuerpo intrusivo de la Cordillera Occidental lo constituye el Batolito de Mandé (Alvarez, A.J., 1971) el cual, por correlación con edades radiométricas obtenidas en la carretera Bolívar-Quibdó, se puede considerar como probablemente de edad terciaria media (Irving, 1971).

La extensión del cuerpo intrusivo no es aún bien conocida, pero la información obtenida en transversas este-oeste realizadas por INGEOMINAS en los años 1970 y 1971, indican una dimensión aproximada de 200 km en dirección norte-sur y 25 km en dirección este-oeste en su parte más ancha (fig.4). Su composición predominante es cuarzodiorita con variaciones locales de diorita.

La mineralización de cobre de Pantanos-Pegadorcito se encuentra asociada a pequeños cuerpos de pórfidos dacíticos que cortan la cuarzodiorita del Batolito de Mandé.

Uno de los mayores rasgos estructurales, hasta ahora parcialmente conocido, lo constituye la Falla de Murindó reconocida fotogeológicamente por Kassem (1972), en la parte norte y que podría ser la continuación de la falla reconocida por Botero y Garcés (1935) y Case y otros (1971) sobre la carretera Bolívar - Quibdó.

### TIPOS DE ROCAS

Dentro de la zona cartografiada se han distinguido ocho tipos de roca cuya distribución se muestra en la Figura 5.

Estos seis tipos de roca se pueden agrupar en cuatro unidades con relaciones entre sí mejor establecidas que para los tipos de roca individuales; estas unidades son: 1) cuar-

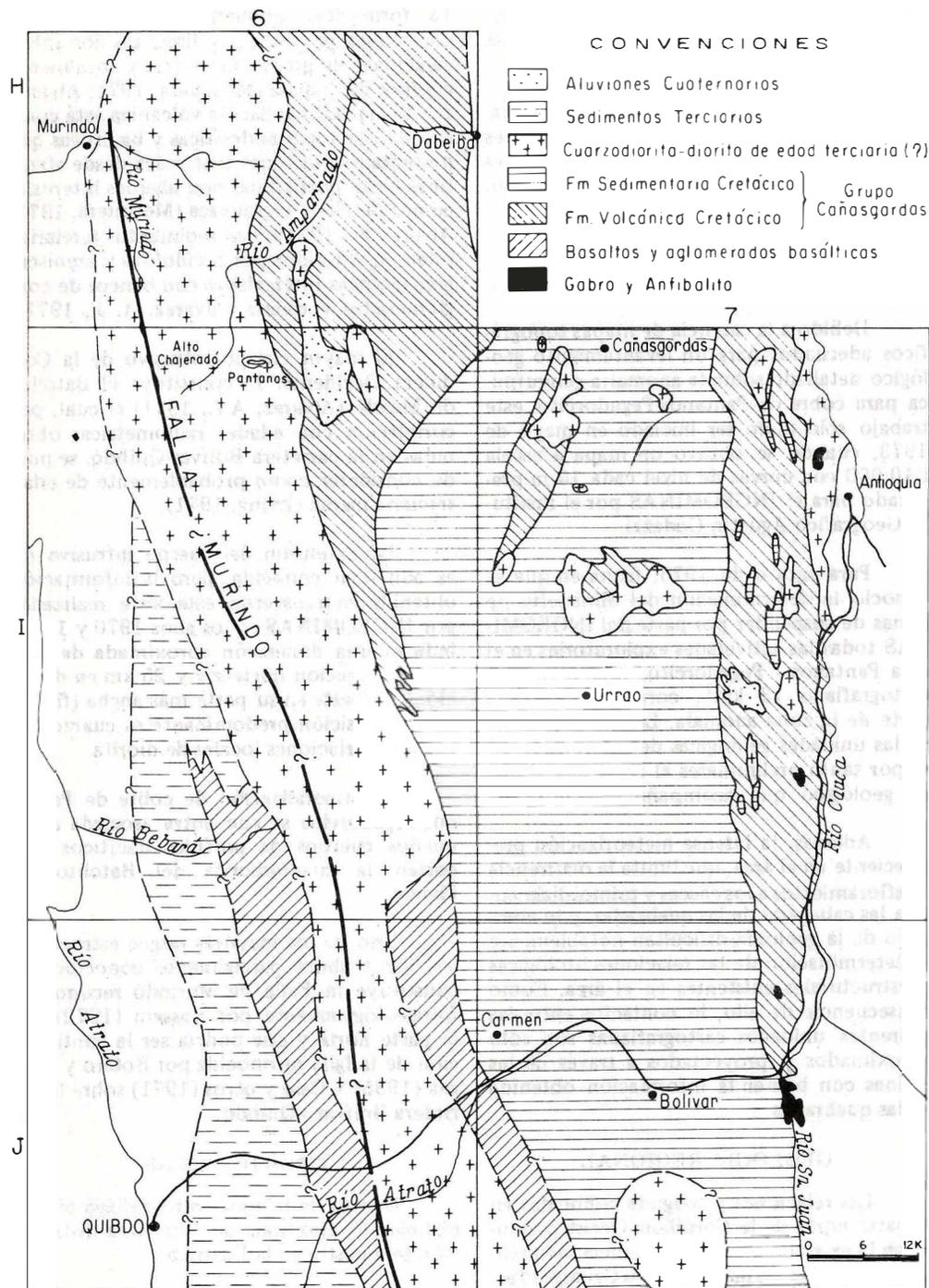


FIGURA 4. MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO DE LA PARTE NORTE DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL

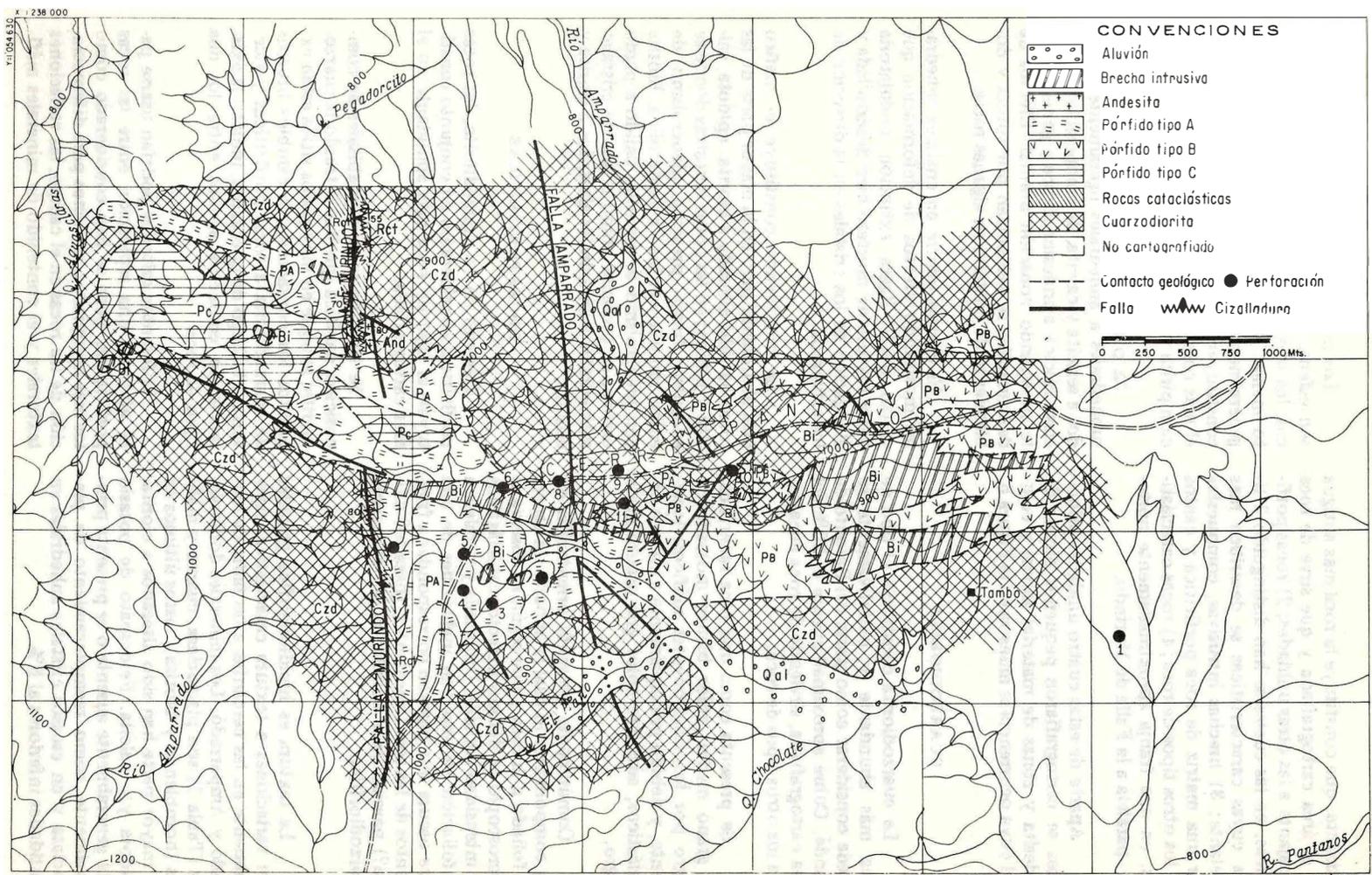


FIGURA 5.

MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO DEL AREA PANTANOS - PEGADORCITO

X=1233 000

zodiorita, que constituye la roca más antigua en el área cartografiada y que sirve de roca encajante a las otras unidades; 2) rocas porfiríticas, en las cuales se han distinguido 3 tipos cuyas características se describen más adelante; 3) brechas intrusivas, compuestas por una matriz de roca porfirítica y cantos de los otros tipos de roca; 4) rocas cataclásticas, en una franja aproximadamente nort-sur, paralela a la Falla de Murindó.

Aparte de estas cuatro unidades principales se cartografiaron pequeños diques de andesita y zonas de material aluvial y coluvial cuya ocurrencia se muestra en la Figura 5.

#### CUARZODIORITA

La cuarzdiorita constituye el tipo de roca más abundante y tentativamente se puede considerar como parte del Batolito de Mandé. Cubre aproximadamente el 50% del área cartografiada, sirviendo de roca encajante a los otros tipos de roca.

Se presenta como una roca fanerítica, de grano medio, color blanco moteado de negro por los componentes máficos; localmente, y debido principalmente a efectos cataclásticos, adquiere color gris oscuro hasta negro.

Comúnmente presenta orientación de sus componentes lo cual le imparte un aspecto foliado a la roca y que según se observa al microscopio es debido a efectos cataclásticos de intensidad variable. Orientada y paralela a la foliación se observan inclusiones de una roca oscura que parecen corresponder a fragmentos de las rocas encajantes (basalto? diorita?) parcialmente asimilados por el magma cuarzdiorítico.

La textura es hipidiomórfica granular con variaciones a textura cataclástica, especialmente en las cercanías a las fallas de Murindó y Amparradó. Los minerales dominantes (Tabla 1) son plagioclasa, cuarzo y máficos (hornblenda y biotita); estos últimos en su mayor parte han sido alterados a clorita, epidota y/o calcita. Feldespato de potasio está generalmente ausente o se presenta principalmente como reemplazamiento de plagioclasa y en escasos cristales anhedralmente en cantidades inferiores al 5%.

Los minerales accesorios más comunes son esfena, apatito, zircón y minerales opacos; los tres primeros constituyen en conjunto menos del 0,5%. Los minerales opacos, generalmente están asociados a clorita y constituyen entre el 0,5% y el 1,5% siendo el más común magnetita y en menor proporción piritita y calcopiritita.

La plagioclasa se presenta en cristales subhedrales a anhedralmente ligeramente alterados a sericita y calcita, de composición oligoclásica a andesina-sódica y generalmente mostrando zonación normal. Efectos de deformación se evidencian por rotura y doblamiento de cristales en algunas rocas.

El cuarzo ocurre en cristales anhedralmente mostrando efectos de deformación que varían desde ligera extinción ondulatoria hasta textura de mortero bien desarrollada y elongación de los cristales en la dirección de los esfuerzos.

La hornblenda constituye el máfico más abundante pero en la mayor parte de las rocas ha sido alterada a clorita, epidota, calcita y esfena; en las pocas muestras donde se encontró fresca presenta pleocroísmo de color amarillo verdoso a verde oliva. Biotita con pleocroísmo de amarillo pálido a pardo oscuro, se presenta como restos de cristales subhedrales a anhedralmente alterados a clorita y esfena.

#### ROCAS PORFIRITICAS

Después de la cuarzdiorita, las rocas porfiríticas consideradas en conjunto constituyen el tipo de roca más abundante en el área cartografiada.

Se trata de rocas hipoabisales de composición dacítica que han intruido la cuarzdiorita; aunque en muy pocos sitios están expuestos los contactos, los cambios bruscos de cuarzdiorita a rocas porfiríticas y viceversa a lo largo de quebradas, indican la existencia de contactos agudos entre los dos tipos de roca.

Diferentes criterios podrían usarse para efectuar una separación entre las rocas porfiríticas, pero se han considerado como los más apropiados, al menos para diferenciación de las rocas en el campo, las variaciones texturales y el contenido de minerales máfi-

No. Muestra	IGM 80017	IGM 80020	IGM 80029	IGM 80043	IGM 80106	IGM 80720
Cuarzo	24,7	23,3	28,4	27,3	21,5	25,7
Plagioclasa	46,5	52,6	56,2	56,6	66,7	56,5
Feldespatos de K		3,4	tr.	0,9	tr.	1,0
Hornblenda				8,8		8,4
Biotita				4,8	1,3	2,4
Clorita	14,1	16,5	9,7	0,8	8,5	2,8
Epidota	9,6	2,7	4,2	0,2	Tr.	0,7
Calcita	2,2					1,3
Minerales Opacos *	2,8 p>cp>m	1,5 m, il	1,5 m, il, p	0,5 m	2 m>p>cp	1,1 m>p
Esfena	tr.	tr.		tr.	tr.	tr.
Apatito	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.

\*m = magnetita; il = ilmenita; p = pirita; cp = calcopirita.

TABLA 1. Análisis Modal de la Cuarzodiorita (porcentaje por volumen).

cos. Con base a estos criterios se han establecido tres clases de pórfidos, denominados tipos A, B y C, cuya distribución se indica en el mapa geológico (fig.5).

La relación clara entre los tres tipos de pórfidos no fue observada en el campo y tal vez se trata sólo de diferentes fases de una misma intrusión, siendo posible que en algunos casos las diferencias puedan deberse a fenómenos de contaminación del magma con las rocas encajantes o a variaciones en el tipo e intensidad de alteración hidrotermal sufrida por los pórfidos.

Los tres tipos de pórfidos presentan una matriz afanítica a fino granular compuesta esencialmente por feldespato no maclado y cuarzo en la cual resaltan fenocristales de cuarzo, plagioclasa y clorita pseudomorfa según hornblenda y/o biotita. Los pórfidos A y B se caracterizan por tener una matriz afanítica compuesta predominantemente por feldespato no maclado; macroscópicamente se diferencian entre sí por la presencia de fenocristales de hornblenda y/o clorita pseudomorfa según hornblenda en el pórfido tipo B. El pórfido tipo C se caracteriza por presentar una matriz finogranular en contraste con la matriz afanítica de los tipos A y B, por un mayor contenido de cuarzo en la matriz y por presentar, aunque no siempre, cristales de biotita fresca posiblemente producidos por alteración hidrotermal.

*Pórfido Tipo A.*- El pórfido tipo A ocurre hacia la parte central del área cartografiada (fig.5), presentando sus mejores afloramientos sobre la quebrada Lanito.

Este pórfido tiene color gris claro en los afloramientos más frescos, y adquiere color blanco que en ocasiones presenta un tinte verdoso por la presencia de malaquita en los afloramientos que han sufrido más intensa alteración y/o meteorización. La matriz es afanítica y rodea a fenocristales de plagioclasa y escasos fenocristales euhedrales de clorita pseudomorfa según biotita.

Los minerales dominantes son plagioclasa y cuarzo; accesorios más comunes son zircón, apatito, esfena y minerales opacos; los minerales secundarios sericita, calcita, epidota, feldespato de potasio, clorita, limonita generalmente están presentes como producto de alteración de plagioclasa, biotita

y minerales opacos. Los fenocristales de cuarzo y plagioclasa constituyen más del 50% de la roca (Tabla 2) lo que de acuerdo con los criterios indicados por Stringham (1971, p.37) permiten clasificar al pórfido tipo A como pórfido cuarzodiorítico. La matriz de este pórfido generalmente es afanítica equigranular y está compuesta predominantemente de feldespato no maclado (plagioclasa sódica?) parcialmente alterado a sericita; cuarzo hasta donde se puede reconocer en la matriz, se presenta en proporción muy inferior a la del feldespato.

Los fenocristales de cuarzo constituyen del 15 al 30% de la roca y varían en forma desde perfectos cristales hexagonales hasta cristales anhedrales cuyo diámetro mayor oscila entre 0,1 y 10 mm; por lo general tienen bordes rectos bien definidos, aunque en algunas secciones delgadas se presentan entradas o proyecciones de la matriz dentro de los fenocristales de cuarzo las cuales están rellenas con mica blanca. Los fenocristales de plagioclasa constituyen del 30 al 45% de la roca y varían de anhedrales a subhedrales y en tamaño de 0,5 a 3,5 mm en su diámetro mayor; por lo general se presentan débilmente maclados, no zonados y ocurren desde levemente empolvados con sericita hasta completamente reemplazados por sericita y calcita. Su composición varía de oligoclasa cálcica a andesina sódica.

Los minerales máficos originales (hornblenda y biotita) han sido reemplazados completamente por clorita y ésta a su vez reemplazada por mica blanca, la cual generalmente presenta minerales opacos asociados.

Los minerales opacos constituyen del 0,3 al 1,0% de la roca y en orden decreciente de abundancia son calcopirita, piritita, magnetita e ilmenita.

*Pórfidos Tipo B.*- El pórfido tipo B aflora en la parte este del área cartografiada y ocurre en cuerpos alargados de dirección este-oeste (fig. 5).

En general este tipo de pórfido se presenta menos alterado que el pórfido tipo A y debido al mayor contenido de minerales ferromagnesianos tiene color gris más oscuro que aquel. Los fenocristales de cuarzo son menos abundantes y menos notorios que en el pórfido tipo A.

No. Muestra	IGM 80021	IGM 80023	IGM 80024	IGM 80041	IGM 80115	IGM 80123
Matriz	35,4	35,2	43,0	45,9	65,4	57,2
Fenocristales :						
Cuarzo	18,1	29,7	18,0	17,6	10,6	7,2
Plagioclasa	43,5	33,9	39,0	35,0	20,3	30,1
Mica Blanca (según máficos)	2,1	—	tr.	0,3	—	3,5
Clorita	—	0,8	—	0,2	3,2	1,2
Minerales Opacos *	0,8 cp	0,4 cp	tr.	0,9 cp, b.	0,5 m>p	0,8 cp>p

\* cp = calcopirita; b = bornita; p = pirita; m = magnetita.

TABLA 2. Análisis Modal de Pórfido Tipo A (porcentaje por volumen).

Los minerales componentes dominantes (Tabla 3) son cuarzo y plagioclasa; hornblenda rara vez ocurre fresca y en su mayor parte ha sido alterada a clorita y epidota con segregación de minerales opacos. Otros minerales accesorios, normalmente presentes, son magnetita, pirita, calcopirita, apatito y esfena. Los minerales secundarios más comunes son clorita, epidota, calcita, sericita y feldespato de potasio.

Fenocristales de cuarzo, plagioclasa y hornblenda alterada, ocurren dentro de una matriz afanítica a finogranular compuesta por feldespato no maclado (plagioclasa sódica) y algo de cuarzo. Los fenocristales constituyen más del 50% de la roca, lo cual permite la clasificación del pórfido tipo B como un pórfido cuarzodiorítico (Stringham, 1971, p. 37).

Los fenocristales de cuarzo constituyen del 7 al 15% de la roca, son anhedrales a subhedrales con borde redondeado y en algunos casos ondulado con proyecciones de la matriz dentro de los mismos. Su tamaño varía de 0,5 a 4 mm; los cristales mayores presentan una aureola de sericita hasta de 0,7 mm de espesor. En algunas de las secciones delgadas estudiadas los fenocristales de cuarzo aparecen fracturados y como fragmentos angulares que imparten a la roca una textura brechoide.

Los fenocristales de plagioclasa constituyen del 30 al 55% de la roca, son subhedrales a euhedrales, con tamaño variable, de 0,3 a 4,5 mm en su dimensión mayor, generalmente maclados y mostrando zonación normal. En su mayor parte presentan reemplazamiento por feldespato de potasio el cual aparece en forma de venas que se entrecruzan y muy incipiente alteración a sericita y material arcilloso; en algunas de las muestras estudiadas (IGM-80031-80032 y 80033) la plagioclasa aparece alterada principalmente a sericita, calcita y epidota. Su composición promedio es andesina (An 36 - 46) presentando generalmente un núcleo ligeramente más cálcico.

El componente máfico original fue hornblenda, el cual constituía del 2 al 5% de la roca pero se encuentra reemplazada en su totalidad por epidota, clorita y magnetita; clorita a su vez, en algunas secciones delgadas, aparece alterada a sericita; se observan además escasos cristales de biotita reemplazados por clorita.

Los minerales opacos constituyen del 0,2 al 1% de la roca, siendo la magnetita el más abundante entre éstos, seguida por pirita, ilmenita y calcopirita, los cuales en parte aparecen asociados a los componentes máficos alterados.

No. Muestra	PORFIDO TIPO B					PORFIDO TIPO C		
	IGM 80012	IGM 80031	IGM 80034	IGM 80700	IGM 9275	IGM 80124	IGM 80725	IGM 80128
Matriz	35,1	49,8	37,8	43,4	39,5	42,7	54,8	52,8
<b>Fenocristales</b>								
Cuarzo	8,3	11,5	13,9	23,0	7,3	4,5	8,0	17,2
Plagioclasa	53,4	33,6	42,8	26,3	50,4	50,2	34,3	26,9
Clorita (según máficos)	1,4	2,2	0,9	6,7	1,3	tr.	—	1,8
Epidota (según máficos)	1,0	2,5	3,9	—	0,9	—	—	0,5
Biotita	—	—	—	—	—	2,4	2,1	—
Minerales Opacos*	0,7 m>p>cp	0,4 il.	0,7 m, p	0,6 m	0,6 m, p	0,2 m	0,8 m>cp	0,9 m

\* m = magnetita; p = pirita; cp = calcopirita; il = ilmenita.

TABLA 3. Análisis Modal de Pórfidos Tipo B y C (porcentaje por volumen).

La matriz del pórfido tipo B es afanítica a finogranular compuesta predominantemente por feldespato no maclado (plagioclasa sódica) levemente empolvada con sericita y pequeñas laminitas de clorita; cuarzo está también presente en la matriz pero en proporción muy subordinada al feldespato y debido al tamaño de grano tan pequeño es muy difícil de diferenciar claramente de aquel. En algunas de las secciones delgadas estudiadas se observan proyecciones de la matriz dentro de los fenocristales de cuarzo y plagioclasa los cuales han sido parcialmente asimilados por aquella.

*Pórfido Tipo C.* - El pórfido tipo C aflora en la parte noroccidental del área cartografiada (fig. 5), presentando sus mejores afloramientos sobre las quebradas tributarias de la quebrada Pegadorcito.

Como se dijo previamente, este tipo de pórfido se caracteriza por tener una matriz de grano más grueso que la matriz afanítica de los pórfidos A y B y por presentar en algunos de sus afloramientos pequeños cristales de biotita que no han sufrido alteración y que se pueden considerar como de origen hidrotermal. La relación de este pórfido con

el pórfido tipo A no se encuentra claramente expuesta en superficie y por tanto los contactos que se indican en el mapa geológico son sólo aproximados y en gran parte asumidos.

Este pórfido presenta una matriz que varía en color de gris claro a gris oscuro dentro de la cual resaltan fenocristales de plagioclasa, cuarzo y pequeñas laminitas de biotita.

Los minerales dominantes (Tabla 3) son cuarzo y plagioclasa, pero en una de las secciones delgadas analizadas (IGM-80124) el feldespato de potasio se hace presente como granos anhedrales y constituye el mineral más dominante de la matriz. En las demás rocas analizadas la matriz está constituida por feldespato no maclado, ligeramente sericitizado y en menor proporción por cuarzo. Biotita constituye el principal mineral accesorio; los minerales accesorios menores son magnetita, pirita, calcopirita y zircón; los minerales secundarios son sericita, feldespato de potasio y clorita.

Los fenocristales de cuarzo constituyen del 4 al 10 % de la roca, son subhedrales y en algunos casos tienen forma de fragmen-

tos sub - angulares que con los fragmentos de plagioclasa imparten a la roca una textura microbrechoide.

Los fenocristales de plagioclasa son subhedrales a euhedrales, ligeramente sericitizados y mostrando reemplazamiento por feldespato de potasio que en algunas muestras le imparten a la roca un aspecto micropeperítico; su composición varía de oligoclasa cálcica a andesita sódica y por lo general no presentan zonación.

Biotita, aunque no siempre presente, ocurre en láminas finas, subhedrales a anhedrales, con pleocroismo X = amarillo pálido, Y = Z = pardo verdusco. Su carácter fresco, en contraste con la sericitación y alteración a feldespato de potasio de la plagioclasa, sugiere que sea secundaria y de origen hidrotermal. En las muestras donde no se presenta biotita, se observan laminillas anhedrales y agregados de clorita que posiblemente corresponden al producto de alteración de los máficos originales.

Los minerales opacos constituyen menos del 1% de la roca siendo el más común magnetita, la cual en algunos casos aparece tan finamente diseminada que le imparte un color gris oscuro a la matriz; en orden decreciente de abundancia le siguen pirita y calcopirita, esta última presenta generalmente un borde de alteración a calcocina.-

#### BRECHAS INTRUSIVAS

Este tipo de roca tiene su mayor desarrollo en la parte este del área cartografiada donde se presenta en cuerpos alargados de dirección general este-oeste, estrechamente relacionados con el pórfido tipo B. Cuerpos menores fueron cartografiados dentro del pórfido tipo A en la parte sur-central del área y en el sector de Pegadorcito (fig.5).

La brecha intrusiva está compuesta por fragmentos redondeados a sub-angulares de cuarzodiorita y pórfido tipo A preferencialmente, rodeados por una matriz porfirítica de color gris verdoso a gris oscuro. Los fragmentos de roca presentan generalmente bordes definidos hacia los contactos con la matriz, observándose que su composición y proporción con respecto a ella, depende de las rocas encajantes y de la proximidad a los contactos; el tamaño de los fragmentos de

roca varía desde unos pocos milímetros hasta 80 centímetros en su dimensión mayor.

La ocurrencia de varios diques y cuerpos irregulares de brecha que en forma de digitaciones se proyectan dentro de los afloramientos de pórfido tipo A y de cuarzodiorita en el río Amparradó, indican que la brecha es de origen intrusivo. Los contactos entre los cuerpos de brecha y el pórfido tipo B que se encuentran íntimamente relacionados al este del área cartografiada, están muy pobremente expuestos y parecen ser contactos gradacionales.

Aunque localmente se puede observar abundante pirita asociada a la brecha, de las unidades cartografiadas ésta es la unidad más pobremente mineralizada en sulfuros de cobre.

Bajo el microscopio se observa que la matriz de la brecha intrusiva es muy similar en composición a los pórfidos ya descritos pero ésta presenta una textura brechoide debido al aspecto angular de los fragmentos de cristales de cuarzo y plagioclasa. Los fragmentos de cuarzodiorita presentan generalmente aspecto cataclástico, indicando que la formación de la brecha fue posterior a la cizalladura y al desarrollo de algunas de las fallas reconocidas en el área.

#### ROCAS CATACLASTICAS

Dentro del área cartografiada son comunes los afloramientos en los cuales se observa intensa cataclasis produciendo pequeñas zonas de trituración, cataclasitas y milonitas, varias de ellas indicadas en el mapa geológico con el símbolo de cizalladura.

Paralela a la falla de Murindó se presenta, sin embargo, una franja de rocas cataclásticas que por alcanzar un espesor hasta de 200 m y por ser claramente diferenciables de las rocas descritas previamente, fueron cartografiadas como una unidad diferente.

Se caracteriza este tipo de roca por su grano fino, color gris oscuro a casi negro y por presentar generalmente una fina estructura bandeada que le da el aspecto de una roca sedimentaria débilmente metamorfoseada. Las relaciones de campo y el estudio al microscopio indican, sin embargo, que son rocas ígneas que por intensa cataclasis han perdido

su textura original y que en algunos casos han sufrido recristalización.

Variaciones texturales permiten clasificar estas rocas cataclásticas preferencialmente como milonitas, con cambios locales a ultramilonitas y cataclasitas. Localmente se observan milonitas estratificadas ("layered mylonites") producidas por procesos de diferenciación metamórfica (Spry, 1969, p.236) en las cuales se presentan láminas alternas de minerales félsicos y máficos y que por su composición pueden en algunos casos ser clasificados como anfibolitas. La foliación dominante de las rocas cataclásticas varía de  $N10^{\circ}E$  a  $N20^{\circ}W$  con buzamiento hacia el oeste de  $55$  a  $90^{\circ}$ .

Aunque generalmente es casi imposible reconocer la textura ígnea en muestras de mano, el estudio de secciones delgadas permite reconocer porfiroclastos que aparecen rodeados por cristales elongados o agregados finos de cuarzo.

La roca original de la mayor parte de las secciones delgadas estudiadas es cuarzo-diorita pero en unas pocas es aún posible reconocer una textura porfirítica original.

Los mayores cambios en composición observados en estas rocas cataclásticas son un aumento en el contenido de cuarzo, el cual en parte ha sufrido recristalización, y la división de los minerales opacos (especialmente magnetita) en granos finos que aparecen ampliamente diseminados en la roca y en parte contribuyen a impartir el color oscuro a la mayor parte de las milonitas y cataclasitas. Cortando la foliación cataclástica se observan venitas de piritita y calcopiritita lo cual sugiere que la mineralización, al menos en parte, fue posterior a la formación de estas rocas cataclásticas.

#### RASGOS ESTRUCTURALES

Todas las rocas descritas previamente se encuentran altamente fracturadas, variando en intensidad desde fallas de carácter regional a microfracturas que en algunos sitios forman amplias zonas de fracturamiento, permitiendo una mayor mineralización de las rocas afectadas.

Durante los programas de cartografía geológica se presentó especial atención al re-

conocimiento de diaclasas y a su relación con la mineralización, diferenciándolas de aquellas fracturas que por la presencia de material triturado indicaran la ocurrencia de movimiento; estas últimas se representan en el mapa geológico con el símbolo de cizalladura.

El diagrama rosa (Fig. 7) construido con 264 direcciones de diaclasamiento registradas en el campo, indica el predominio de diaclasas con dirección  $N 60^{\circ} W$  a E-W; comúnmente las diaclasas son verticales pero se presentan variaciones a buzamientos entre  $60$  y  $90^{\circ}$  tanto al este como al oeste. En el grupo de diaclasas mineralizadas las siguientes direcciones son predominantes:  $N10-20^{\circ}E$ ,  $N70-80^{\circ}E$ ,  $N70-80^{\circ}W$  y E-W.

Aunque se observan numerosas zonas de cizalladura y trituración (fig. 5), no es posible correlacionarlas todas con las fallas mayores y bien pudieron ser producidas por movimientos pequeños a lo largo de fracturas. El diagrama de rosas de 87 direcciones de cizalladura tomadas en el campo (fig. 7A) indica un predominio de cizalladuras con dirección general N-S y variación de  $N20^{\circ}W$  a  $N20^{\circ}E$ ; aproximadamente un 40% de estas zonas de cizalladura y trituración se presentan mineralizadas especialmente con piritita, predominando en este grupo aquellas con dirección  $N30-40^{\circ}W$  y  $N50-60^{\circ}W$ .

Dos fallas de carácter regional, reconocidas previamente en fotografías aéreas (Kassem, 1972), fueron identificadas en el campo y provisionalmente se les ha denominado fallas de Murindó y Amparradó (figs. 5 y 6) por estar en parte controlando el cauce de dichos ríos. Debido a lo pequeño del área estudiada no es posible establecer una clasificación precisa de estas fallas, excepto que se trata de fallas con dirección general nort-sur, verticales o con fuerte buzamiento. La continuidad de la falla de Murindó por 40 km hacia el norte, determinada en fotografías aéreas y su posible continuación hacia el sur de Pantanos, sugieren que es una gran falla de rumbo.

La falla de Murindó presenta en la parte norte del área cartografiada una zona de rocas cataclásticas que alcanzan hasta 200 m de espesor pero hacia su parte sur la zona cataclástica se hace más delgada (fig. 5). Aun-

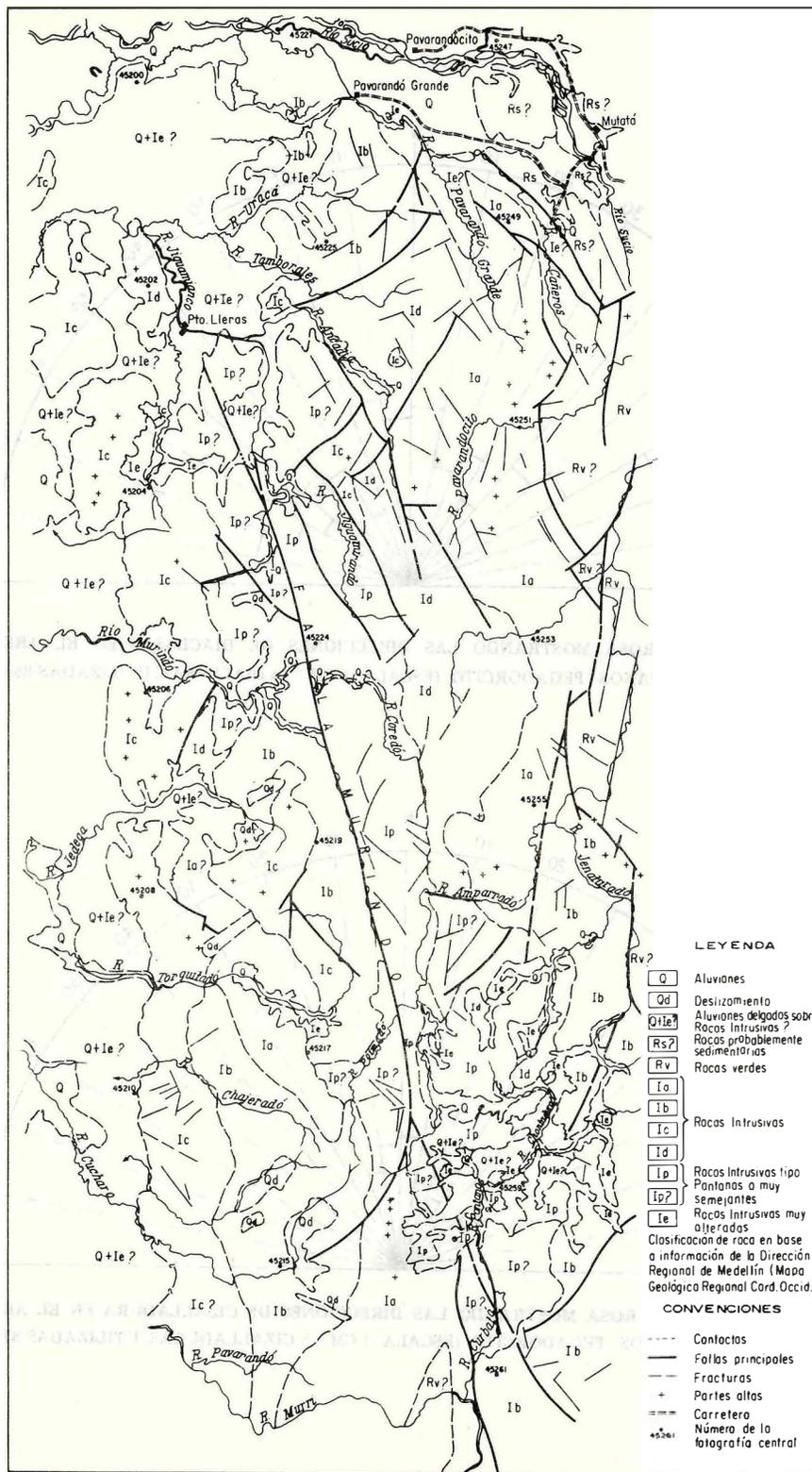


FIGURA 6.

MAPA FOTOGEOLOGICO DETALLADO DEL AREA PANTANOS - PEGADORCITO

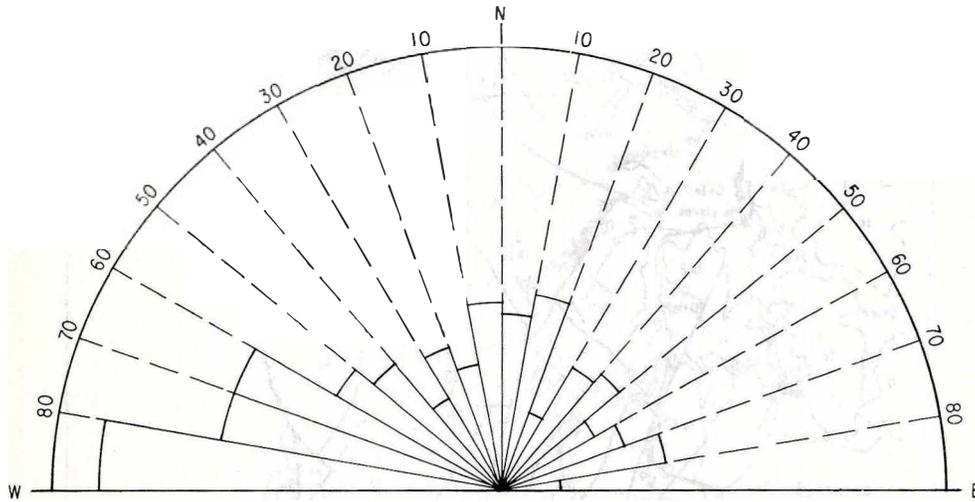


FIGURA 7. DIAGRAMA ROSA MOSTRANDO LAS DIRECCIONES DE DIACLASAS EN EL AREA DE PANTANOS - PEGADORCITO. (ESCALA: 1 CM = 5 DIACLASAS; UTILIZADAS 264)

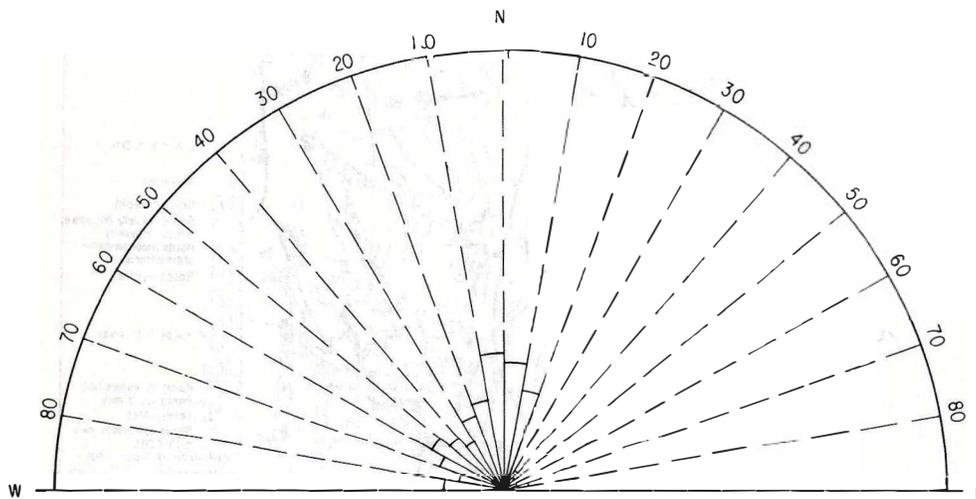


FIGURA 7A. DIAGRAMA ROSA MOSTRANDO LAS DIRECCIONES DE CIZALLADURA EN EL AREA DE PANTANOS - PEGADORCITO. (ESCALA: 1 CM = 5 CIZALLADURAS; UTILIZADAS 87).

que en el mapa geológico esta falla y su zona cataclástica aparecen interrumpidas por los pórfidos tipo A y C, debe anotarse que es necesario un mayor control de campo y quizás algunas perforaciones para establecer las verdaderas relaciones entre los pórfidos y la falla. Brock y Griffiths (comunicación escrita, 1973) han planteado la posibilidad de que la mineralización de Pegadorcito corresponda a una porción del cuerpo mineralizado de Pantanos que ha sido desplazado hacia el norte por la falla de Murindó. Sin embargo, no se encontraron evidencias claras para mantener dicha hipótesis, pues aunque algunas rocas cataclásticas preservan restos de textura porfirítica, en la quebrada Pegadorcito se observaron afloramientos en los cuales los pórfidos sin evidencias de deformación cortan las rocas cataclásticas y por tanto podría pensarse que la cataclasis observada en algunos afloramientos de pórfido sea debida a fallas más recientes.

La falla de Amparradó, aunque es menos notoria que la falla de Murindó, ha sido identificada por pequeñas zonas de cataclasis y ultracataclasis observadas en las quebradas tributarias del río Amparradó por su margen occidental; su continuación hacia el norte del área cartografiada aparece muy clara en las fotografías aéreas, siendo posible seguirla por aproximadamente 10 kilómetros donde se une a la falla de Murindó; su continuación hacia el sur es desconocida debido a la carencia de fotografías aéreas.

#### MINERALIZACION Y ALTERACION

La intensa meteorización y alteración supergénica prevaeciente en el área, han limitado la cantidad de afloramientos a menos del 1 % del área cartografiada y constituyen un factor limitante para una evaluación en superficie de la intensidad, extensión y modelos de mineralización y alteración. Por este motivo, y aunque se prestó especial atención a estos dos factores, en esta etapa de la investigación no es posible aún presentar mapas de mineralización y alteración y nos limitaremos por tanto a indicar las observaciones más importantes y sus relaciones con los diferentes tipos de roca cartografiados.

#### MINERALIZACION

Los sulfuros ocurren como disseminaciones y asociados a fracturas y planos de cizalladura, observándose un mayor contenido

de sulfuros en las zonas de mayor fracturamiento; ocasionalmente se observan venitas (1 a 2 mm) y algunas venas de cuarzo hasta de 60 cm de espesor que contienen abundante pirita y calcopirita.

Aparte del control estructural, la mineralización está controlada por diferentes tipos de rocas. De las diferentes unidades cartografiadas en el área, la brecha intrusiva es la menos mineralizada (véanse figs. 8 y 15), pues solo localmente se observan altas concentraciones de pirita con trazas de calcopirita. Dentro del grupo de los pórfidos, el tipo A se presenta como el mejor mineralizado, aunque no siempre, y el tipo C el menos mineralizado; debe anotarse, sin embargo, que lo anterior se establece con base sólo a las observaciones en superficie complementadas con los resultados del muestreo geoquímico, ya que no se perforó ningún pozo en los pórfidos tipo B y C, en tanto que el pórfido tipo A fue perforado en los pozos Nos. 3, 4, 5 y 8. La cuarzodiorita generalmente se presenta mineralizada cerca al contacto con el pórfido, observándose que la mineralización se hace menos notoria a medida que se aleja del contacto o cuando el pórfido, que la intruye no está mineralizado. Las rocas cataclásticas normalmente se presentan mineralizadas, ocurriendo los sulfuros disseminados y en venitas cortando la foliación, lo cual sugiere que la mineralización, al menos en parte, fue posterior a las etapas de mayor deformación.

En la figura 8 se muestra la relación entre los tipos de rocas dentro del área cartografiada y su contenido de cobre determinado espectrográficamente.

Los sulfuros constituyen en promedio el 1 % del volumen de la roca, siendo entre estos la pirita el más abundante, que bajo condiciones favorables se presenta acompañada por calcopirita y bornita, las cuales sobrepasan a la pirita en las zonas de mayor contenido de cobre. Magnetita generalmente está presente, observándose que su contenido disminuye a medida que aumenta el de calcopirita, y junto con pirita se presentan comúnmente asociadas a los restos de componentes ferromagnesianos en la roca, sugiriendo un posible reemplazamiento de magnetita por calcopirita. Molibdenita se presenta como trazas, según lo indican los análisis espectrográficos de muestras de roca; sólo fue observada macroscópicamente en una muestra del sector de Pegadorcito y en núcleos de

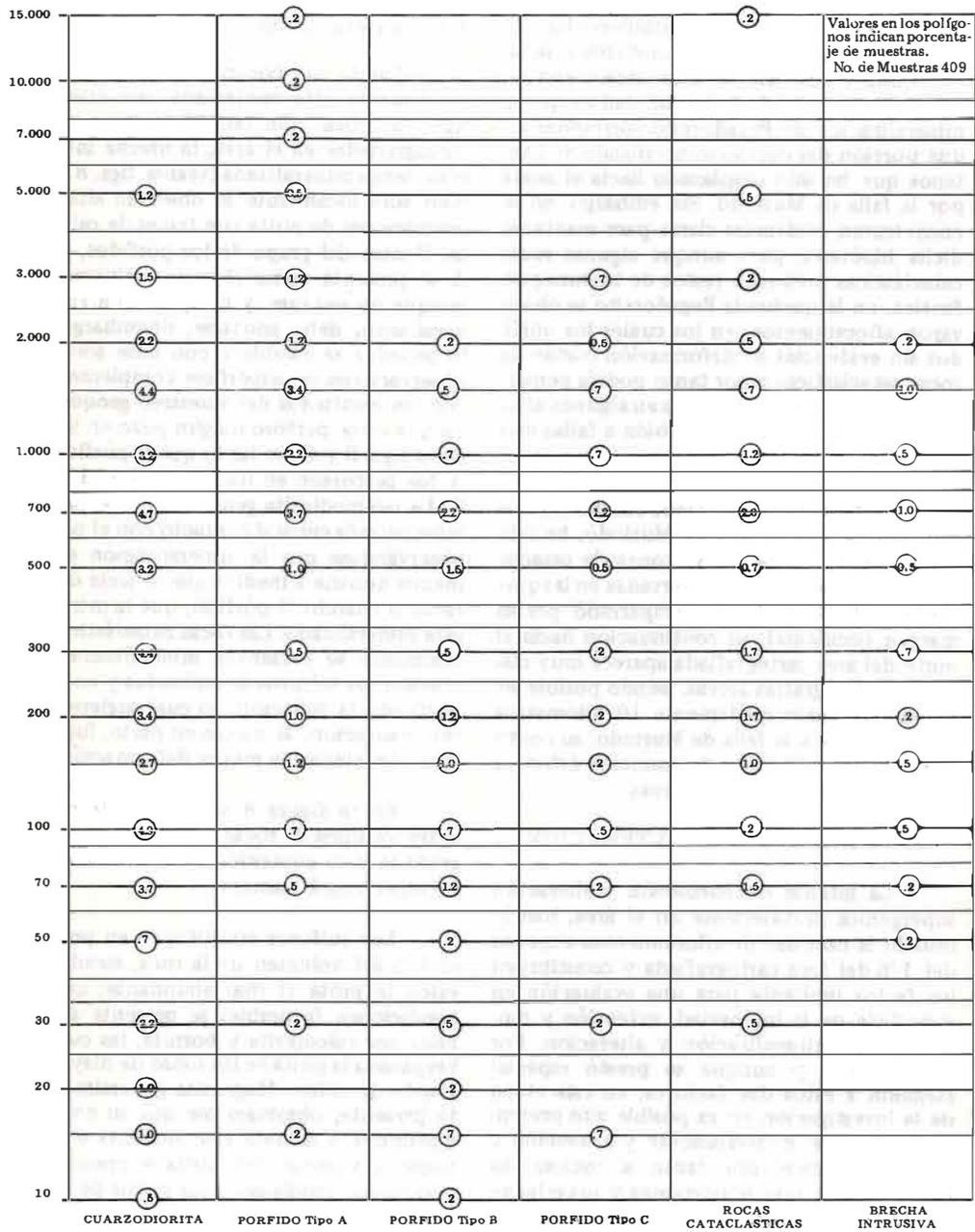


FIGURA 8. RELACION ENTRE LOS TIPOS DE ROCA EN EL AREA CARTOGRAFIADA Y SU CONTENIDO DE COBRE DETERMINADO ESPECTROGRAFICAMENTE

los pozos Nos. 3, 4 y 11. Esfalerita se observó en la sección delgada de una muestra (IGM-80038) pero su presencia como trazas en otras áreas está sugerida por los resultados de los análisis espectrográficos de las muestras de rocas.

La capa o cobertura de material lixiviado tiene un espesor variable desde prácticamente cero en el cauce de las quebradas (véanse figs. 18 y 21), hasta 38 m en la parte alta del Cerro Pantanos (véase fig. 19). Se observa además que la lixiviación varía de un lugar a otro, bajo condiciones topográficas similares, pues en el sector Pegadorcito ha sido más intensa y ha llevado a la desaparición casi total de los sulfuros primarios en superficie.

Los minerales de oxidación reconocidos en el área son principalmente malaquita, crisocola y trazas de azurita, los cuales fueron observados más comúnmente en la quebrada Lanito y en tributarias de la quebrada Pegadorcito. Abundante limonita como relleno en bloques de brecha de fractura ("crackle breccia") se observó en el sector Pegadorcito y se presenta igualmente abundante en la parte superior (20 a 25 m) de los núcleos de los pozos Nos. 4 y 5.

De la información obtenida en las perforaciones y de las observaciones en superficie, parece que el proceso de enriquecimiento supergénico ha tenido poco desarrollo en el área Pantanos - Pegadorcito. Calcocina y covelina en forma de películas sobre los cristales de calcopirita y piritita se observan esporádicamente en afloramientos del sector de Pegadorcito y en núcleos y muestras de lodo de los pozos Nos. 3, 4, 5, 7 y 11; sin embargo, sólo se presentan en una zona más o menos continua en el pozo No. 3 hasta los 17 m y en el pozo No. 4 hasta los 20 m de profundidad.

#### ALTERACION

Siguiendo la nomenclatura comúnmente usada por varios autores (Meyer and Hemley, 1967; Lowell and Guilbert, 1970; Creasey, 1971) para definir las zonas de alteración asociadas con pórfidos cupríferos, en el área Pantanos-Pegadorcito se han reconocido alteraciones sericitica, argílica, propilitica y silicificación. La alteración potásica está muy pobremente desarrollada y sólo se ob-

servó en algunas rocas del pórfido tipo C en el sector Pegadorcito; la ocurrencias de venas de feldespato de potasio en el pozo No. 11 sugiere la presencia de este tipo de alteración a profundidad.

La alteración sericitica y en menor intensidad la argílica, ha afectado los pórfidos y preferencialmente al pórfido tipo A, presentándose en las zonas con más alto contenido de cobre. Se caracteriza por el reemplazamiento parcial a casi total de la plagioclasa por agregados finos de sericitita y minerales del grupo de las arcillas y reemplazamiento de los ferromagnesianos originales por mica blanca, la cual generalmente presenta piritita o calcopirita asociada. Donde esta alteración ha sido más intensa, los fenocristales de plagioclasa se confunden con la matriz y la roca se presenta como una mosaico de cuarzo y sericitita generalmente acompañados de sulfuros. Silicificación es más comúnmente observada en los pórfidos en los cuales se presentan venas de cuarzo que varían desde fracción de milímetro hasta varios centímetros de ancho; en núcleos de los pozos Nos. 3, 5 y 7 se observa además que la sericitización es más intensa cerca a las venas de cuarzo tanto mineralizadas como no mineralizadas.

La alteración propilitica ha afectado preferencialmente a la cuarzodiorita y al pórfido tipo B; se caracteriza por la alteración de los componentes máficos (hornblenda y biotita) a clorita, epidota y calcita; minerales del grupo de la epidota asociados con calcita se observan comúnmente en venas que cortan la cuarzodiorita.

#### PROSPECCION GEOQUIMICA

El muestreo geoquímico se efectuó a lo largo de quebradas y trochas las cuales fueron levantadas a paso y brújula debido a la carencia de un mapa base adecuado. Las transversas muestreadas en cada comisión se dibujaron sobre un plano escala 1:10.000. Las estaciones de muestreo quedaron marcadas sobre árboles con su correspondiente número de campo.

Con el fin de obtener la mayor información y un mejor control del área anómala, se tomaron cuatro tipos de muestras: roca en afloramientos, suelos de horizonte B, sedimentos finos y concentrados en batea. En las primeras etapas del muestreo se efectua-

ron varias transversas en las cuales se tomaron muestras de suelo hasta 2,4 m de profundidad y se colectaron muestras de agua de los arroyos para determinación de pH.

Todas las muestras colectadas fueron analizadas en los laboratorios centrales del INGEOMINAS para 33 elementos por el método espectrográfico semi-cuantitativo de seis etapas (Grimes y Marranzino, 1968). Se efectuó análisis para mercurio a 548 muestras de suelo empleando técnicas de absorción atómica (Vaughn, 1967).

En las primeras etapas del muestreo se efectuaron en el campo análisis de cobre extraíble en medio ácido frío (Canney and Hawkins, 1958) a muestras de roca triturada, suelos y sedimentos finos. Posteriormente solo las muestras de sedimentos finos continuaron siendo analizadas en el campo y sus resultados usados para la selección de los arroyos y quebradas que debían ser muestreadas en mayor detalle.

#### SEDIMENTOS FINOS

Las muestras fueron tomadas sobre quebradas mayores a intervalos de 200 a 500 m y en sus afluentes a una distancia de 10 a 20 metros aguas arriba de la confluencia, con lo cual se obtuvo una densidad promedio de 15 muestras por km<sup>2</sup>.

Las muestras se tomaron en el canal activo de la quebrada y se tamizaron en mallas 10 ó 18. La gran mayoría de las muestras fueron analizadas en el campo para cobre extraíble en frío. Posteriormente se realizó el análisis espectrográfico de la fracción menos malla 80.

#### CONCENTRADOS DE BATEA

Las muestras de concentrados de batea se tomaron en las intersecciones de trochas con quebradas y en transversas a lo largo de quebradas mayores con espaciamiento aproximado de 500 m; en las confluencias se tomaron muestras tanto en la corriente principal como en las tributarias.

En el laboratorio, a las muestras colectadas se les removió la fracción magnética con imán de mano. Al resto se les hizo separación por bromoformo y la fracción pesada se analizó espectrográficamente.

#### ROCAS

En las partes planas del área se tomaron muestras de todos los afloramientos encontrados. Hacia los nacimientos de las quebradas, donde los afloramientos son en general más continuos, se colectaron muestras de esquiras a intervalos de 20 a 50 metros. Esporádicamente se tomaron muestras de rodados de roca, especialmente en las etapas iniciales del muestreo.

No se incluye en esta publicación el mapa de sitios de muestreo; éste se puede consultar en el Informe de Progreso No.1633 del INGEOMINAS.

Todas las muestras fueron estudiadas macroscópicamente para tratar de determinar el grado de meteorización, alteración y tipo de mineralización. Se seleccionaron muestras de roca para sección delgada y de cada una se conservó un fragmento como referencia. El resto de la muestra fue enviada a los laboratorios centrales donde, luego de trituradas y pulverizadas, la fracción menos malla 150 fue sometida a análisis espectrográficos.

#### SUELOS

Las muestras se tomaron del horizonte B a una profundidad de 50 a 70 cm, aunque en algunas transversas se tomaron muestras de suelo hasta 2,4 m de profundidad. Se colectaron un total de 1.190 muestras de suelo del horizonte B y 66 muestras de horizontes inferiores.

Las muestras fueron colectadas a intervalos de 100 a 200 metros a lo largo de trochas y quebradas. En este último caso, la muestra de suelo se tomó sobre una de las márgenes de la quebrada y a unos 10 m. del sitio de la muestra de sedimentos finos, tratando de evitar en esta forma cualquier contaminación con material fluvial.

#### RESULTADOS GEOQUÍMICOS

Los resultados geoquímicos para los cuatro tipos de muestras colectadas se presentan en la Tabla 4. Para la interpretación de los diferentes datos geoquímicos se utilizaron métodos estadísticos, y se calcularon los valores normal ("background") y umbral ("threshold") con base en las distribuciones de frecuencia.

ELEMENTO Y TIPO DE MUESTRA	VALORES EN PPM EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DISTRIBUCION <sup>(1)</sup>				
	2%	5%	20%	50%	80%
Cu/Sedimentos Finos	1000	700	300	100	50
Cu/Concen. de Batea	1500	1000	200	70	30
Cu/Rocas	3000	2000	700	150	50
Cu/Suelos	1500	1000	500	150	70
Mo/Sedimentos Finos	10	7	N <sup>(2)</sup>	N	N
Mo/Concen. de Batea	15	L5	N	N	N
Mo/Rocas	30	15	N	N	N
Mo/Suelos	20	10	N	N	N
Ag/Concen. de Batea	7	1,5	N	N	N
Ag/Rocas	1,5	0,7	N	N	N
Pb/Sedimentos Finos	15	10	L10 <sup>(3)</sup>	N	N
Pb/Concen. de Batea	30	L10	N	N	N
Pb/Rocas	15	10	L10	N	N
Pb/Suelos	20	15	10	L10	N
Zn/Sedimentos Finos	200	N	N	N	N
Zn/Concen. de Batea	L200		N	N	N
Zn/Rocas	200	L200	N	N	N
Zn/Suelos	N	N	N	N	N

- 1) Un "nivel de distribución del 2%" significa que 2% del total de muestras contiene la cantidad que se indica, o más, del elemento en consideración.

Los valores indicados se han aproximado a los valores de detección usados en el análisis espectrográfico.

- 2) N indica no detectado.  
3) L indica menor que.

TABLA 4. Distribuciones geoquímicas en el área de Pantanos - Pegadorcito.

La mediana o nivel distribución del 50% de cualquier conjunto de datos se consideró como el valor normal para ese conjunto. El valor umbral se consideró equivalente a 2,5 veces el valor normal y corresponde en general para el área Pantanos-Pegadorcito a un nivel de distribución cercano al 20%. Los valores que exceden al valor umbral se consideraron anómalos.

Para molibdeno, plata, plomo, y zinc se tomaron como anómalos los valores espectrográficos obtenidos ya que tales elementos fueron detectados sólo en un pequeño porcentaje (5 a 20%) de las muestras colectadas.

Los valores individuales de cobre en sedimentos finos, concentrados de batea, roca y suelo y los de molibdeno en roca y suelo fueron ploteados en mapas a escala 1:10.000, los cuales pueden ser consultados en el Informe de Progreso No. 1633 del INGEOMINAS.

#### DISTRIBUCION DEL COBRE

En el área Pantanos-Pegadorcito la mayor evidencia de anomalía se presenta en la distribución del cobre; este elemento se detectó en todos los tipos de muestras colectadas, encontrándose que su contenido es alto en gran parte de ellas.

#### ROCA

Se colectaron un total de 981 muestras de roca y en ellas se presenta el contenido más alto de cobre y el mayor rango de variación (fig. 9,A).

Las muestras con valores anómalos iguales o mayores de 700 ppm se presentan en dos zonas definidas (fig.10). La zona mayor está relacionada con el Cerro Pantanos y se encuentra entre el río Chontaduro (al este de la figura 10) y el río Amparradó, con longitud aproximada de 5,0 km y ancho promedio de 0,5 km; sin embargo la concentración de valores más elevados (mayores o iguales a 3.000 ppm) se encuentran en las cercanías del río Amparradó en la parte oeste y suroeste del Cerro Pantanos.

La segunda zona se encuentra al oeste del río Amparradó y aproximadamente 2 km al noroeste de la primera. Está localizada en las cabeceras de la quebrada Pegadorcito y tiene una longitud aproximada de 1 km en dirección noroeste-sureste y ancho de 500 m.

En esta zona los valores de cobre alcanzan hasta 10.000 ppm. La continuidad entre las dos zonas no es visible debido a la carencia de afloramientos, siendo necesario posteriores trabajos de campo para probar esta posibilidad.

Fuera de las dos zonas indicadas solo se encuentran algunos valores anómalos en la quebrada Aguasclaras y su tributaria, localizada al oeste de la quebrada Pegadorcito, y en quebradas que drenan el flanco norte del Cerro Pantanos.

#### SUELOS

Las muestras fueron tomadas en el horizonte B y analizada la fracción menos malla 80. Los resultados del análisis espectrográfico mostraron un rango de variación entre 5 y 2.000 ppm. En el histograma de la figura 9,B se muestra la distribución de estos valores y se observa un modo en 70 ppm.

En la distribución en superficie de los valores anómalos (fig. 11), iguales o mayores de 500 ppm, se observa que la zona de Cerro Pantanos es semejante a la resultante del muestreo de sedimentos finos, con los valores más altos concentrados hacia la parte sur del cerro. Esos valores (1000 a 2000 ppm) fueron detectados en la zona plana localizada en los alrededores del Pozo No. 1. La zona de la quebrada Pegadorcito es semejante a la resultante de rocas, encontrándose algunos valores anómalos en el afluente este de la quebrada Aguasclaras.

#### SEDIMENTOS FINOS

Se analizó espectrográficamente la fracción menos malla 80 de 1.502 muestras, detectándose cobre en el 99,5% de ellas. En este caso el rango de variación fue entre 5 y 2.000 ppm. En el histograma de la figura 9,C se observan modos en 70 y 300 ppm.

Considerando los valores iguales o mayores de 500 ppm como anómalos, la distribución en superficie difiere un poco de la que se observa en las rocas ya que en este caso los valores más altos se encuentran ligeramente desplazados hacia el sur en la parte correspondiente al Cerro Pantanos; en la quebrada Pegadorcito la anomalía coincide en términos generales con la dada por rocas, aunque como era de esperarse algunos valores altos aparecen desplazados aguas abajo.

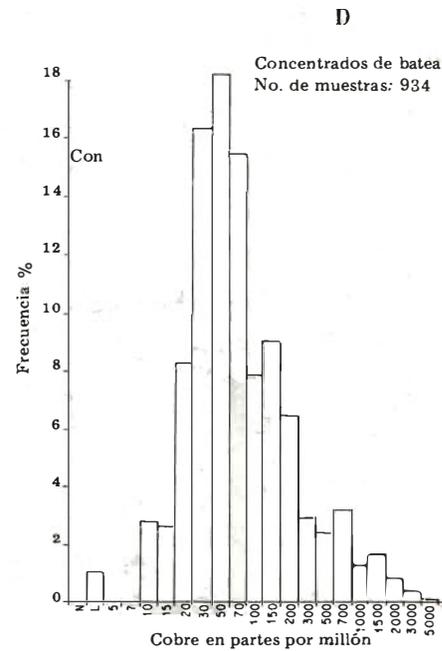
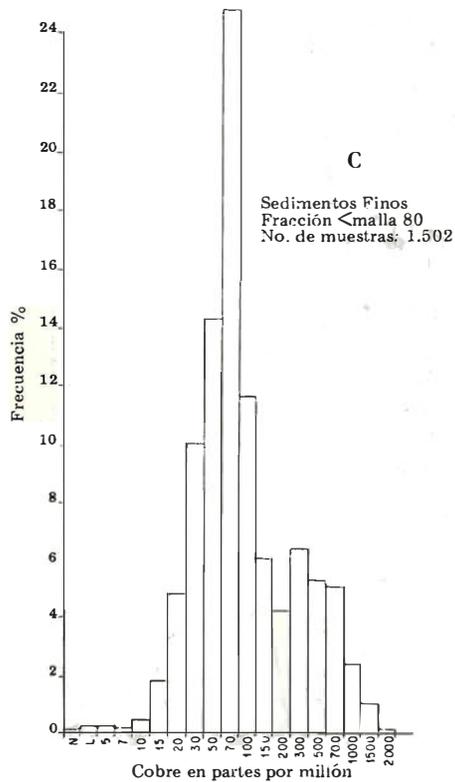
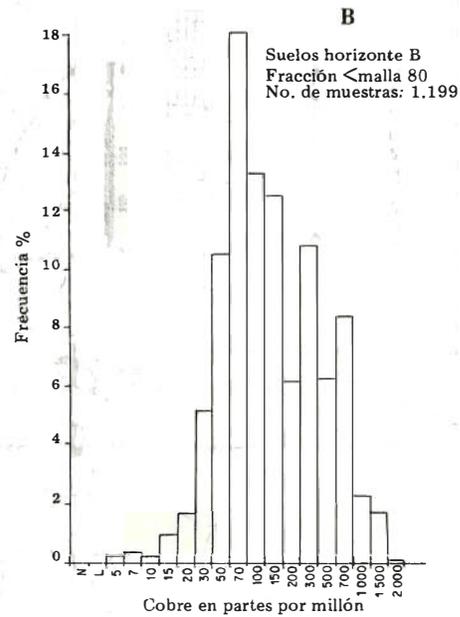
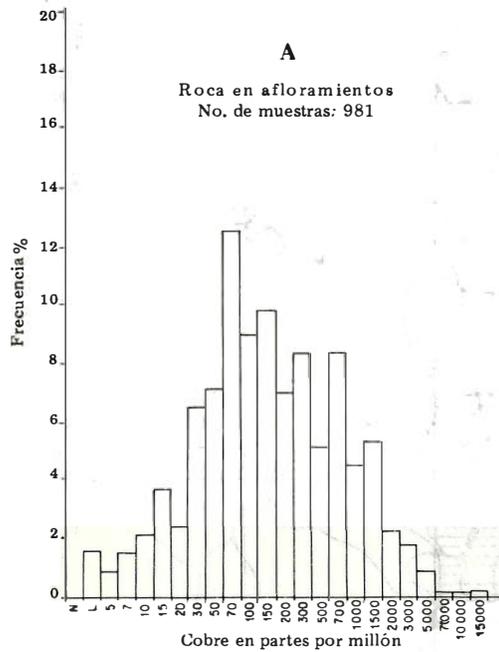


FIGURA 9. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE COBRE EN EL AREA PANTANOS-PEGADORCITO.  
RESULTADOS ESPECTROGRAFICOS

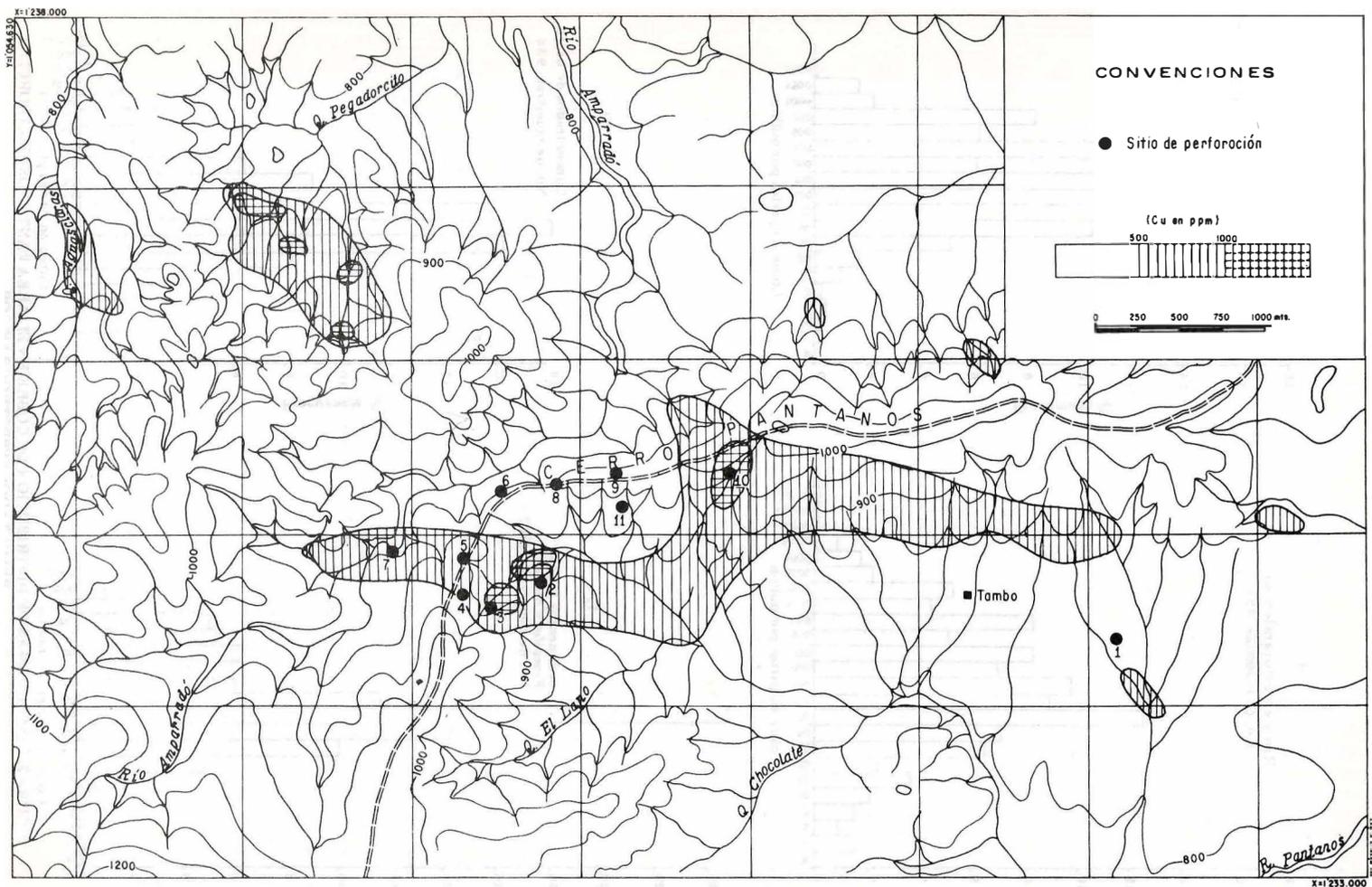


FIGURA 10. ANOMALIAS DE COBRE EN ROCAS

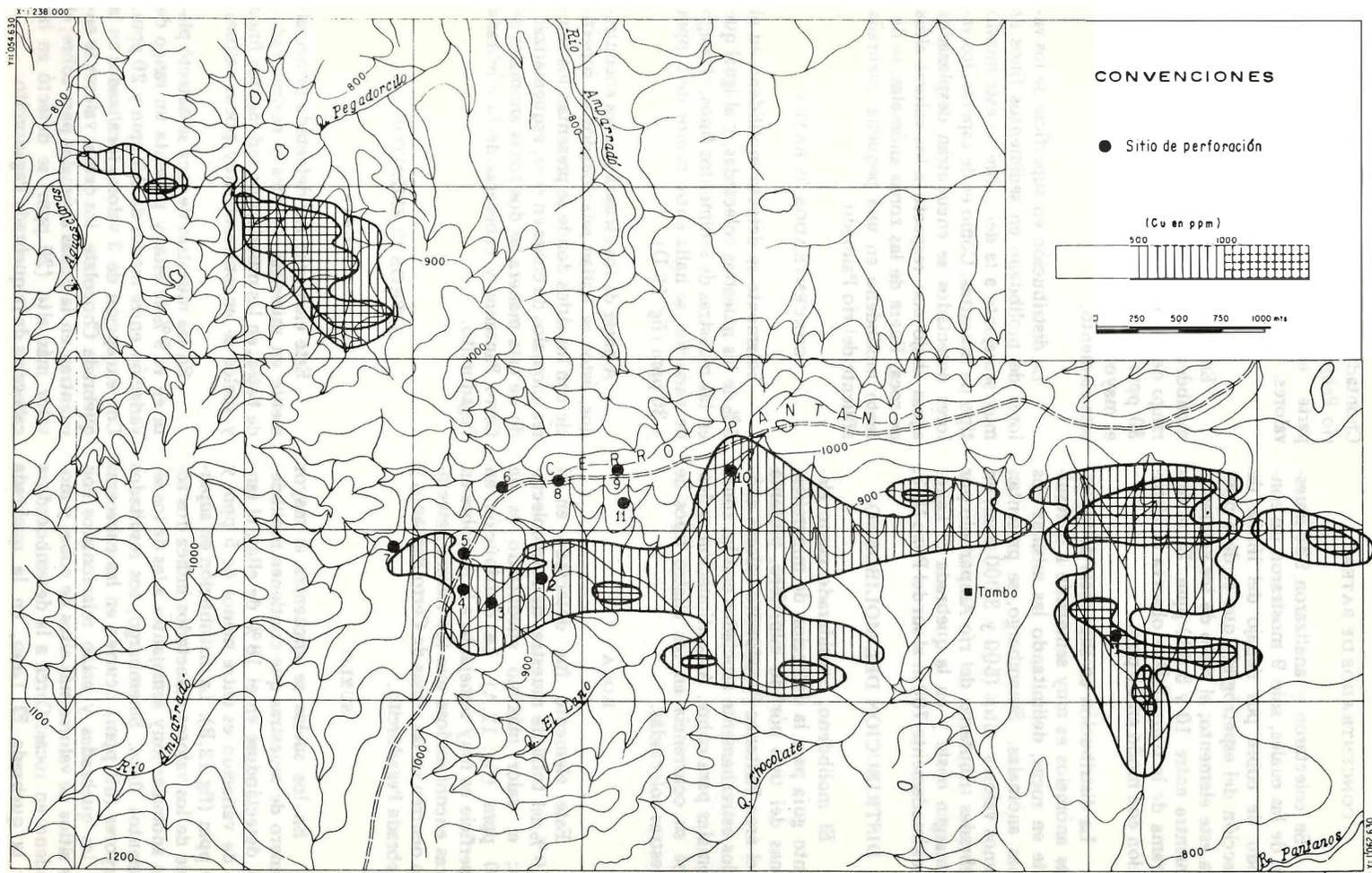


FIGURA 11. ANOMALIAS DE COBRE EN SUELOS

#### CONCENTRADOS DE BATEA

Se colectaron y analizaron 934 muestras, de las cuales, sólo 9 mostraron un contenido de cobre por debajo del límite de detección del espectrógrafo que es de 5 ppm para este elemento; el resto de los valores se encuentra entre 10 y 5.000 ppm. En el histograma de la figura 9,D se observa la distribución con modo en 50 ppm.

La distribución en superficie de los valores anómalos es muy semejante a la resultante en rocas, delimitando las mismas dos zonas anómalas. Sin embargo, se presentan algunos valores altos (500 y 3.000 ppm) en quebradas tributarias del río Amparradó por su margen oeste y en la quebrada El Lano, aproximadamente 700 m al sur del Pozo No.3.

#### DISTRIBUCION DEL MOLIBDENO

El molibdeno, considerado como elemento guía para la detección de mineralizaciones del tipo pórfido cuprífero, presenta en el área Pantanos-Pegadorcito valores anómalos estrechamente asociados con las zonas anómalas para cobre. A continuación se describe su ocurrencia en los cuatro tipos de muestras colectadas.

#### ROCA

Este elemento fue detectado en el 16,0% del total de muestras de roca colectadas; el valor máximo encontrado es de 300 ppm (fig. 12,A). La distribución en superficie es muy semejante a la de cobre en rocas encontrándose que los valores detectados ocurren en las zonas de Cerro Pantanos y quebrada Pegadorcito.

#### SUELO

En los suelos se encuentra el mayor número de muestras que contienen molibdeno, detectándose en el 18% de ellas; el rango de variación es entre menor de 5 ppm y 50 ppm (fig.12,B). La distribución en superficie de los valores detectados indica dos zonas anómalas muy semejantes a las de los sedimentos finos. Sin embargo, los resultados mayores (50 ppm) ocurren en las cabeceras de las quebradas y están relacionados con los sitios de valores más altos de cobre y molibdeno en rocas. Cerca a la desembocadura de la quebrada El Lano, en la quebrada

Chontaduro y en una quebrada afluente del río Paimadó (por fuera de las figuras) en la parte este del área, se detectaron algunos valores.

#### SEDIMENTOS FINOS

En sedimentos finos sólo se detectó molibdeno en el 3% de las muestras con un rango de variación entre menor de 5 ppm y 30 ppm (fig. 12,C). En 5 ppm se encuentra el mayor número de muestras que contienen este elemento.

La distribución en superficie de los valores de molibdeno en sedimentos finos es muy semejante a la del cobre en este mismo tipo de muestras. Como es de esperar, los valores detectados se encuentran desplazados aguas abajo con respecto a los valores altos en roca. Fuera de las zonas anómalas, se detectó molibdeno en una pequeña quebrada afluente del río Paimadó.

#### CONCENTRADOS DE BATEA

Solamente se detectó molibdeno en el 5% de las muestras colectadas, y al igual que en las muestras de sedimentos finos, el rango de variación se halla entre menor de 5 ppm y 30 ppm (fig. 12,D).

A pesar de los escasos valores encontrados, éstos se hallan relacionados en superficie con los sitios donde se presentan los valores anómalos de cobre en roca, esquematizando de esta manera las dos zonas anómalas de Cerro Pantanos y cabeceras de la quebrada Pegadorcito.

#### OTROS ELEMENTOS

##### PLATA

Este elemento fue detectado principalmente en muestras de roca y concentrados de batea; en las muestras de sedimentos finos y suelos se encontraron muy pocos valores.

En las muestras de roca se detectó plata en el 9% de ellas y presenta un rango de variación entre menor de 0,5 ppm y 20 ppm. Con excepción de 3 valores localizados en la quebrada Chocolate, los demás valores se encuentran en las zonas anómalas para cobre; el valor más alto (20 ppm) se detectó en las cabeceras de la quebrada Pegadorcito.

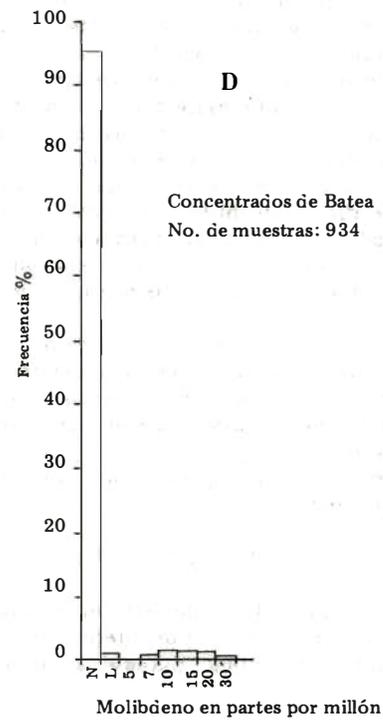
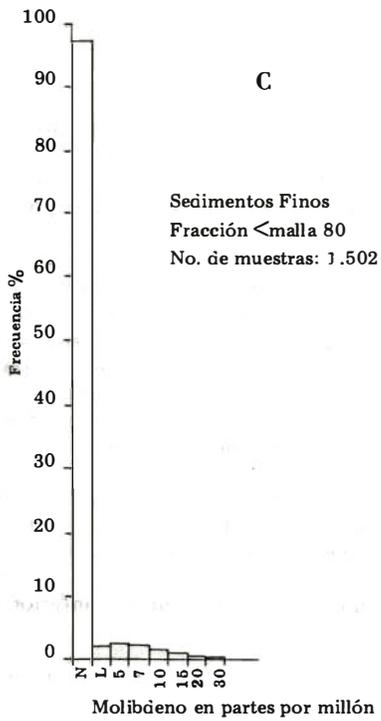
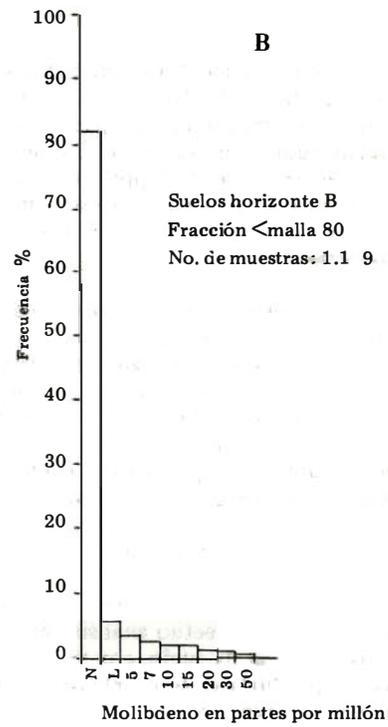
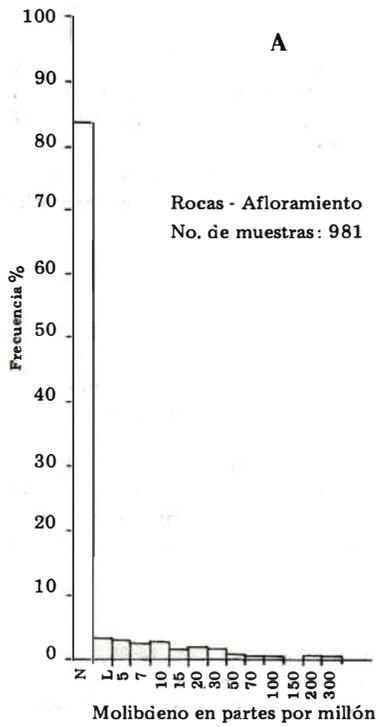


FIGURA 12. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCION DE MOLIBDENO EN EL AREA PANTANOS - PEGADORCITO. RESULTADOS ESPECTROGRAFICOS

En los concentrados de batea se encontró la plata en el 6% de las muestras y con el rango más amplio, entre 1 ppm y 30 ppm; el mayor número de valores (1,8% de las muestras) se presenta en 5 ppm. La distribución en superficie de estos valores es muy semejante a la del cobre en este mismo tipo de muestras.

En los sedimentos finos, la plata sólo fue detectada en el 0,5% de las muestras colectadas y presenta un rango de variación entre 0,5 ppm y 3 ppm. En el horizonte B de los suelos se detectó en el 1,8% de las muestras, con un rango de variación entre menor de 0,5 ppm y 7 ppm. Estos valores se hallan distribuidos irregularmente en toda el área.

#### MERCURIO

En las etapas iniciales del muestreo geoquímico se efectuó análisis para mercurio a las muestras de suelo, con miras a determinar su posible uso como elemento indicador de mineralizaciones.

Se analizaron 482 muestras de suelo correspondientes al horizonte B, las cuales mostraron un rango de variación entre menor de 0,06 y 0,55 ppm. De acuerdo con los resultados obtenidos no se encontró evidencia de halo de mercurio asociado con la mineralización del área Pantanos - Pegadorcito. En la parte sur-central se hicieron 24 perfiles de suelo (66 muestras) hasta una profundidad de 2,4 m en los cuales se nota un descenso abrupto en el contenido de mercurio a medida que es mayor la profundidad.

Se cree que el contenido relativamente "alto" de mercurio en las muestras de suelo más superficiales, puede ser debido a una interferencia causada por el mayor contenido de materia orgánica que es obvio en el horizonte B con respecto a los horizontes más profundos.

#### COBRE EXTRAIBLE EN FRIO

Con el fin de establecer rápidamente los drenajes de mayor interés para ser muestreados en detalle, durante las labores iniciales de campo, se analizaron los sedimentos finos correspondientes a la fracción menos mallas 10 ó 18 por el método de cobre extraíble en frío (Canney and Hawkins, 1958). Los resultados obtenidos varían entre me or

de 1 y 240 ppm. En la figura 13 se observa que para el 99,1% de las muestras la relación entre cobre total determinado espectrográficamente y cobre extraíble en frío varía entre 100:1 y 10:1. La distribución de cobre extraíble en frío en sedimentos finos es similar a la del cobre total en rocas y en concentrados de batea.

#### PERFORACIONES

Debido a la intensa meteorización, combinada con los efectos de alteración y lixiviación, los afloramientos se encuentran restringidos a los cauces de las quebradas. En consideración a esta situación y con el fin de obtener información de aquellas zonas escasas en afloramientos y determinar la naturaleza y tenor de la mineralización en profundidad, se acordó adelantar un programa de perforaciones de exploración.

Las perforaciones con taladro de diamante se iniciaron en la zona de Pantanos en mayo de 1972 y se continuaron hasta agosto de 1973, cuando por cambios en la política del Ministerio de Minas debieron ser suspendidas. Se perforaron 11 pozos de mediana profundidad para un total de 556 m (1822 pies) perforados.

Se empleó un taladro portátil Mark IX para la perforación de los pozos Nos. 1, 2, 3, 7, y 10, localizados en los cauces de las quebradas. Para la perforación de los pozos Nos. 4, 5, 6, 8, 9 y 11 se empleó un equipo Sprague & Henwood, modelo 37H. La localización de estos últimos pozos fue seleccionada con miras a determinar la posible presencia de mineralización en las partes altas del Cerro Pantanos, donde la intensa meteorización, lixiviación y ausencia de afloramientos hacían imposible su observación directa o su determinación por métodos geoquímicos.

La ubicación de los pozos se muestra en las figuras 5, 10 y 11. Debido a problemas técnicos y mecánicos, en los pozos Nos. 1 y 2 no se obtuvo recuperación de núcleos y fueron abandonados a profundidad inferior a los 5 m.

Los núcleos obtenidos fueron divididos en dos partes, una de las cuales se conserva como testigo en las oficinas del INGEOMINAS en Medellín y la otra fue analizada por espectrografía para 33 elementos. Los nú-

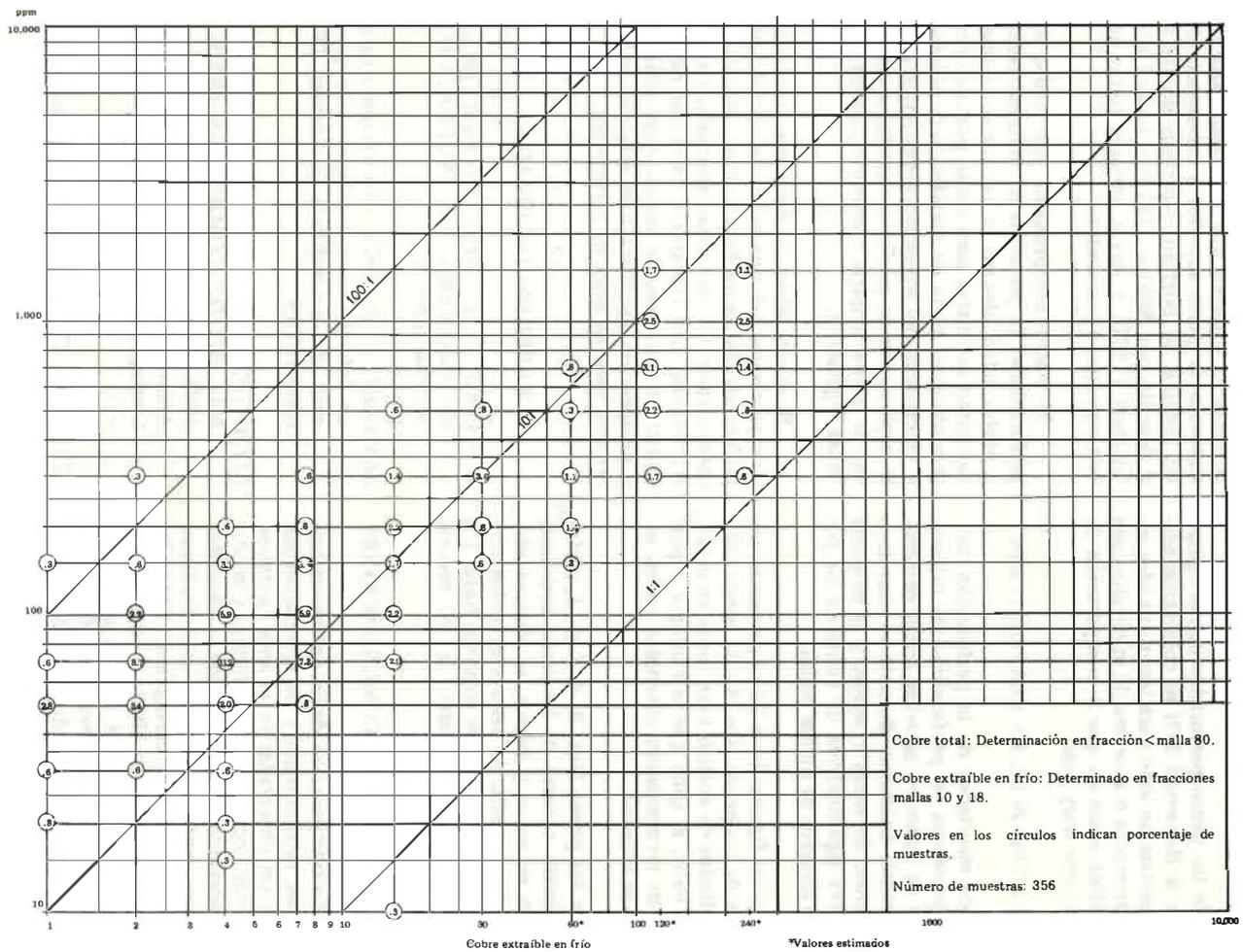


FIGURA 13. RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE COBRE TOTAL Y COBRE EXTRAIBLE EN FRIO EN SEDIMENTOS FINOS

cleos que en este primer análisis mostraron valores de interés, fueron posteriormente analizados por absorción atómica para Cu, Pb, Zn, y por colorimetría para Mo.

En los pozos perforados con el equipo Sprague & Henwood 37H se colectaron además muestras de lodo para tener una idea sobre la presencia o ausencia de mineralización en aquellos casos en que la recuperación de núcleos fuese muy baja.

#### RESULTADOS DE LA PERFORACION

Los resultados de la perforación indican la presencia en profundidad de mineralización de cobre en aquellas zonas determinadas como anomalías durante el muestreo geoquímico e ocas y suelos y la ausencia de valores significativos de cobre en los pozos más alejados de dichas zonas.

En las figuras 14 a 22 se presentan los registros de los pozos Nos. 3 a 11 mostrando los resultados de análisis para cobre en muestras de lodo, al igual que la litología y porcentaje de recuperación obtenidos en los intervalos analizados.

En los pozos Nos. 3, 4, 7 y 11, perforados dentro o cerca de las zonas anomalías de cobre en rocas y suelos, se observa además un incremento de valores de cobre con la profundidad, los cuales alcanzan hasta 1% en profundidades menores de 90 metros (300 pies).

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una comparación de las características litológicas, estructurales y de mineralización y alteración observadas en el área Pantanos-Pegadorcito, con las características y modelos de pórfidos cupríferos típicos descritos por varios autores (Lowell and Guilbert, 1970; Rose, 1970; Stringham, 1971; De Geoffroy and Wignall, 1972; Sillitoe, 1973) permiten concluir que el área en consideración presenta características muy favorables para el desarrollo de un depósito de pórfido cuprífero u o verdadero potencial queda aún por determinar.

Factores tales como la gran extensión de la anomalía geoquímica para cobre, presencia de piritita sobre una gran área, predominio de alteración sericitica, argilica y pro-

litica y la ausencia casi total de alteración potásica, desarrollo notable de brechas intrusivas y el aumento en el contenido de cobre con la profundidad en varios de los pozos perforados, sugieren que la erosión sólo ha expuesto la parte superior a intermedia de un sistema de pórfido cuprífero similar al descrito por Sillitoe (1973) y Lowell and Guilbert (1970) y cuyas mejores zonas deben esperarse a profundidad. 17)

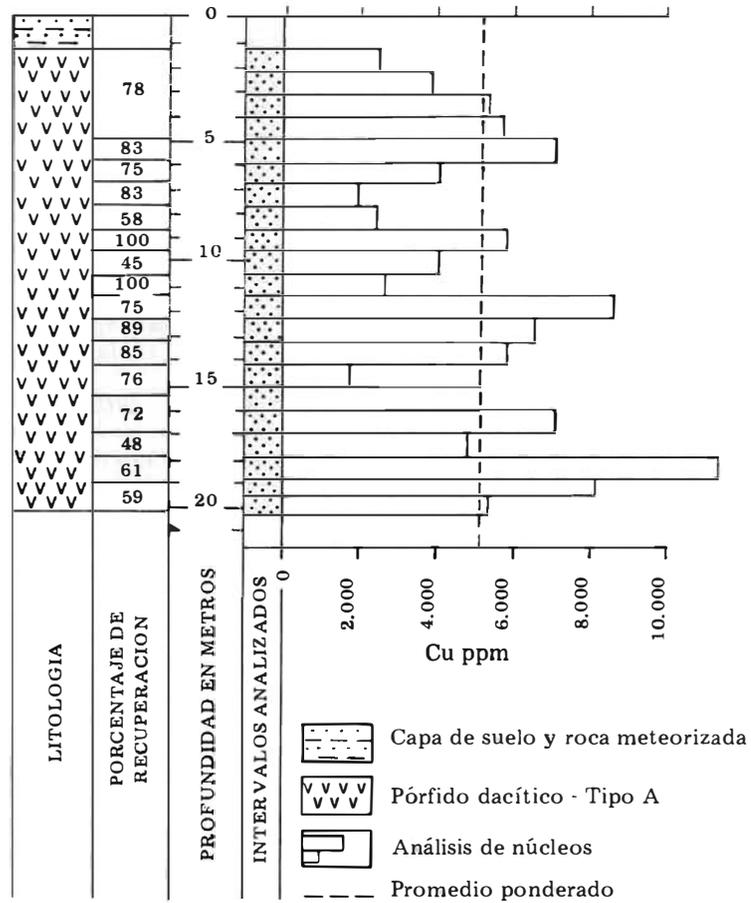
El haber comprobado por medio de perforaciones la presencia de mineralización a profundidad, dentro de las zonas detectadas como anomalías para cobre por métodos geoquímicos, pone de manifiesto la utilidad y efectividad del muestreo geoquímico para la exploración de pórfidos cupríferos en zonas de clima tropical húmedo cubiertas por densa vegetación.

Si en un futuro se decidiera continuar la exploración del prospecto de pórfido cuprífero de Pantanos-Pegadorcito, éste debe concentrarse en las zonas anomalías ya determinadas. Los trabajos a adelantar deben incluir un muestreo de suelos sobre retícula y prospección geofísica para seleccionar sobre esta base los sitios de perforación.

#### REFERENCIAS CITADAS

- ALVAREZ, G. E., 1971.- *Geología rcial del Cuadrángulo I-7. INGEOMINAS, Informe interno.*
- ALVAREZ, A. J., 1971.- *Anotaciones para un Informe sobre Geología y Geoquímica de la Cordillera Occidental. INGEOMINAS.*
- ATLANTIC-PACIFIC INTEROCEANIC CANAL STUDY COMMISSION (ICCS), 1968.- *Engineering Feasibility Studies, Atlantic-Pacific Interoceanic Canal, Geology, Final Report-route 25: Vol. I y II.*
- ATLAS DE COLOMBIA, 1967.- *Publicado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, p. 66.*
- BOTERO, A., G. y GARCES, G., H., 1935.- *Informe Geológico del Camino Bolívar-Quibdó: Minería, Vol. III, No. 28, p. 1884-1887.*

- CANNEY, F.C., and HAWKINS, D.B., 1958.- Cold Acid Extraction of Copper from Soils and Sediments, a Proposed Field Method: *Econ. Geol.*, Vol. 53, No. 7, p. 877-886.
- CASE, J.E., DURAN, S.L.G., LOPEZ, R.A., MOORE, W.R., 1971.- Tectonic Investigations in Western Colombia and Eastern Panama: *G.S.A., Bulletin*, Vol. 82, p. 2685-2712.
- CREASEY, S.C., 1971.- Hydrothermal Alteration: en *Titley & Hicks-Geology of the Porphyry Copper Deposits. South-Western North America: The University of Arizona Press, Tucson, Arizona*, p.51-74.
- DE GEOFFROY, J. and WIGNALL, T.K., 1972.- A Statistical Study of Geological Characteristics of Porphyry-Copper-Molybdenum Deposits in the Cordilleran Belt-Application to the Rating of Porphyry Prospects: *Economic Geology*, Vol. 67, p. 656-668.
- GRIMES, D.J., MARRANZINO, A.P., 1968.- Direc-Current Arc and Alternating Current Spark Emission Spectrographic Field Methods for the Semi-quantitative Analysis of Geologic Methods: *U.S. Geological Survey Circ. 591*, 6 p.
- IRVING, E.M., 1971.- La Evolución Estructural de los Andes más Septentrionales de Colombia: *Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, Boletín Geológico*, Vol. XIX, No. 2, p.48.
- KASSEM, T., 1972.- Mapa Fotogeológico Detallado - Area Pantanos, escala 1:50.000, INGEOMINAS.
- LEPELTIER, C., 1969.- A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation: *Econ. Geol.*, Vol. 64, p. 538-550.
- LOPEZ, R.A., CASE, J.E., DURAN, S.L.G., y ACOSTA, C.E., 1969.- Anomalías Gravimétricas y Magnetométricas en Correlación con la Sección Geológica Medellín-Quibdó (abs.): *Primer Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, Agosto 1969*.
- LOWELL, J.D., and GUILBERT, J.M., 1970.- Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits: *Economic Geology*, Vol. 65, p.373-408.
- MEYER, CH., and HEMLEY, J.J., 1967.- Wall Rock Alteration: Barnes, H.L., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits: New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc.*, p. 166-235.
- MOSQUERA, M., F., ALVAREZ, E., 1971.- Informe Preliminar sobre la Geología de los Cuadrángulos I-7, J-7 y K-7: INGEOMINAS, Informe interno.
- NELSON, W.H., 1962.- Contribución al Conocimiento de la Cordillera Occidental. Sección Carretera Cali-Buenaventura: *Servicio Geológico Nacional, Boletín Geológico*, Vol. X, Nos.1-3, p. 81-108.
- ROSE, A.W., 1970.- Zonal Relations of Wall-rock Alteration and Sulfide Distribution at Porphyry Copper Deposits: *Economic Geology*, Vol.65, p.920-936.
- SILLITOE, R.,H., 1973.- The Tops and Bottoms of Porphyry Copper Deposits: *Economic Geology*, Vol. 68, p. 799-815.
- SPRY, A., 1969.- *Metamorphic Textures: Pergamon Press, Oxford*, p. 227-249.
- STANTON, R.L., 1972.- *Ore Petrology: McGraw Hill Book Company, New York*.
- STRINGHAM, B., 1971.- Igneous Rock Types and Host Rocks Associated with Porphyry Copper Deposits: en *Titley & Hicks - Geology of the Porphyry Copper Deposits. South Western North America: The University of Arizona Press, Tucson, Arizona*, p. 35-40.
- VAUGHN, W.W., 1967.- A Simple Mercury Vapor Detector for Geochemical Prospecting: *U.S. Geol. Survey Circ. 540*.
- WARD, F.N., NAKAGAWA, H.M., HARMS, T.F., and VANSICKLE, G.H., 1969.- Atomic Absorption Methods of Analysis Useful in Geochemical Exploration: *U.S. Geol. Survey Bull. 1289*, p.17.



Localización: Quebrada Lano. X = 1'234.550 Y = 1'057.450  
 Elevación: 910 m  
 Profundidad total: 20,2 m (Φ 9")  
 Recuperación promedio de núcleos: 74 %

FIGURA 14. POZO No. 3 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NÚCLEOS. ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

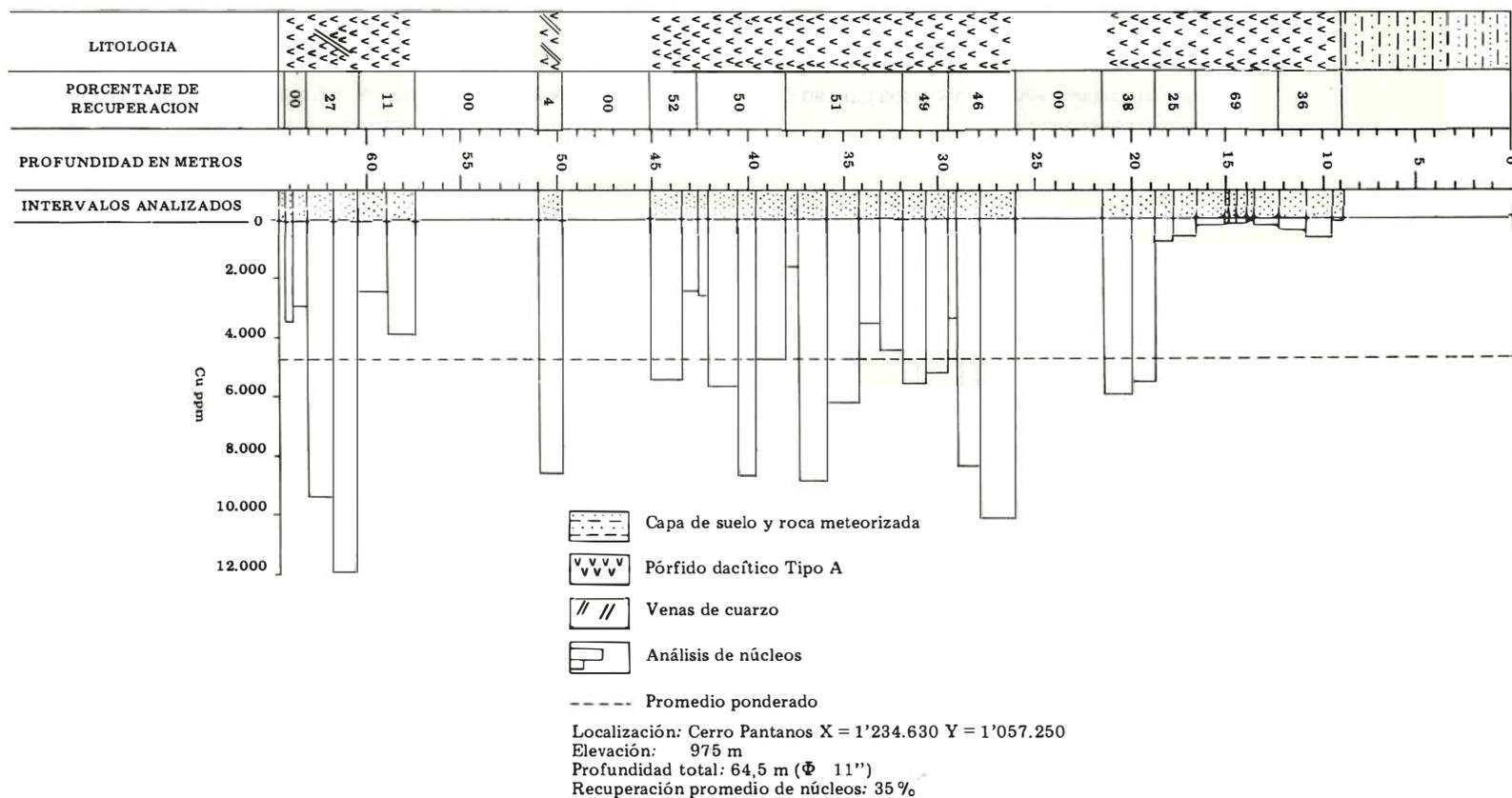


FIGURA 15. POZO No. 4 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS. ANALISIS POR ABSORCION ATOMICA.

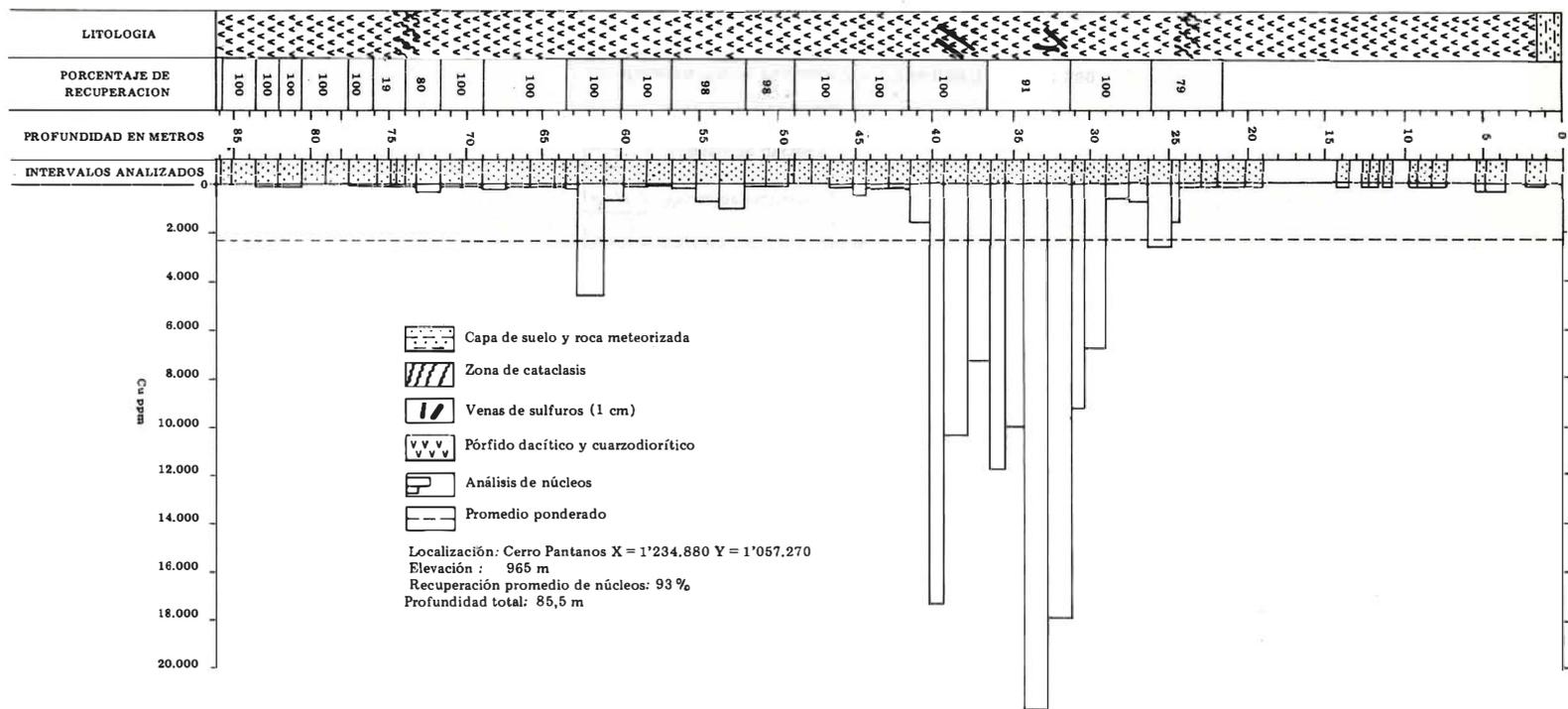


FIGURA 16. POZO No. 5 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS. ANALISIS POR ABSORCION ATOMICA.

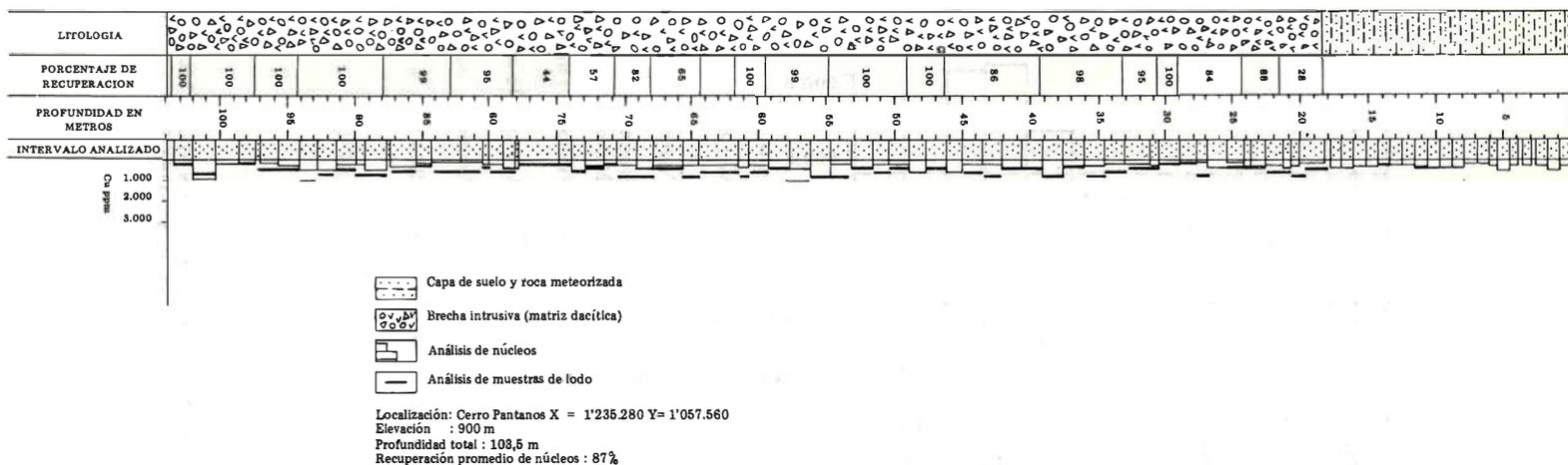
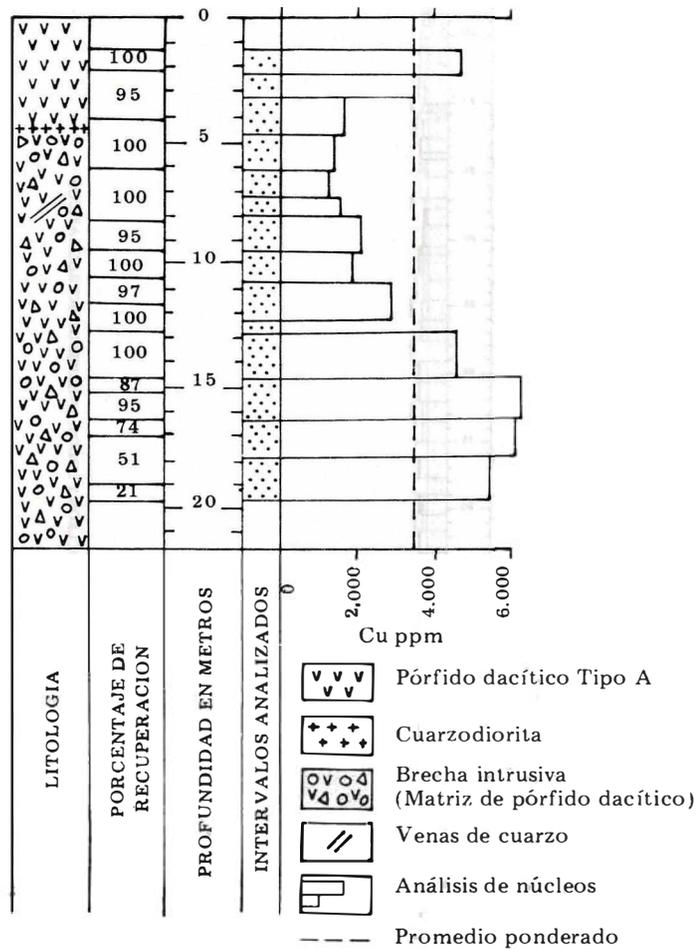


FIGURA 17. POZO No. 6 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS Y LODOS. ANALISIS ESPECTROGRAFICOS



Localización: Río Amparradó X = 1'234.950 Y = 1'056.870  
 Elevación: 850 m  
 Profundidad total: 19,5 m ( $\Phi$  5")  
 Recuperación promedio de núcleos: 87%

FIGURA 18. POZO No. 7 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS. ANALISIS POR ABSORCION ATOMICA

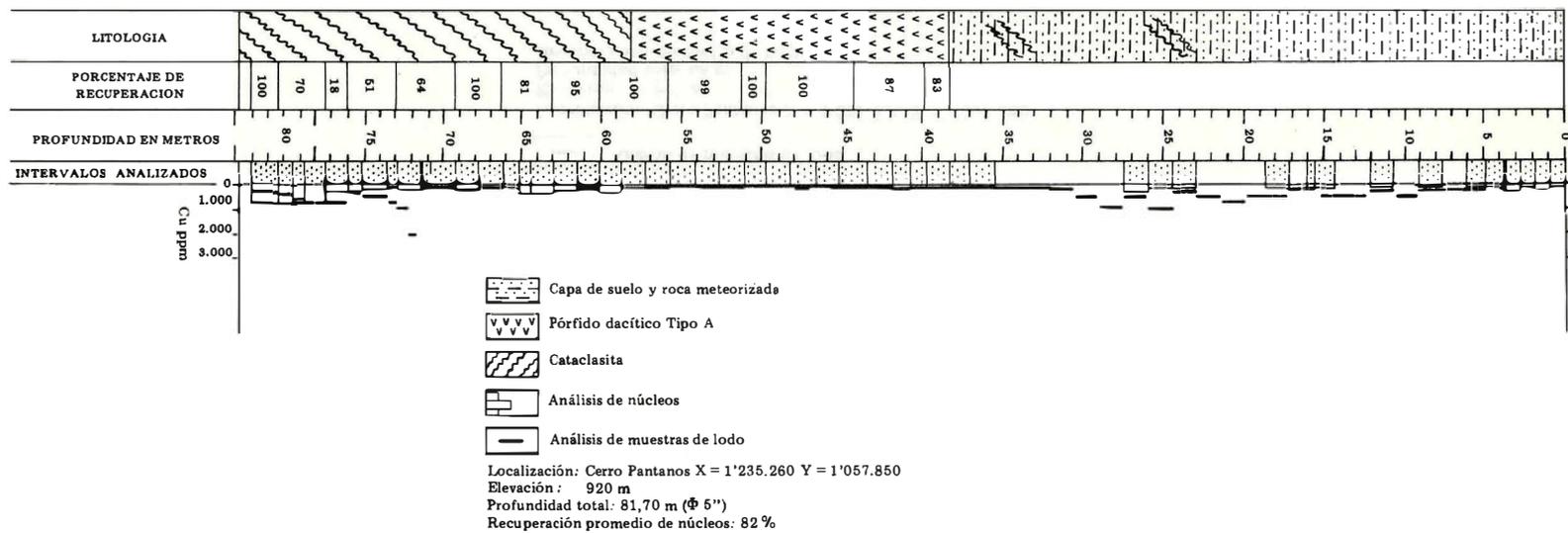


FIGURA 19.

POZO No. 8 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS Y LODOS.  
ANÁLISIS ESPECTROGRÁFICOS

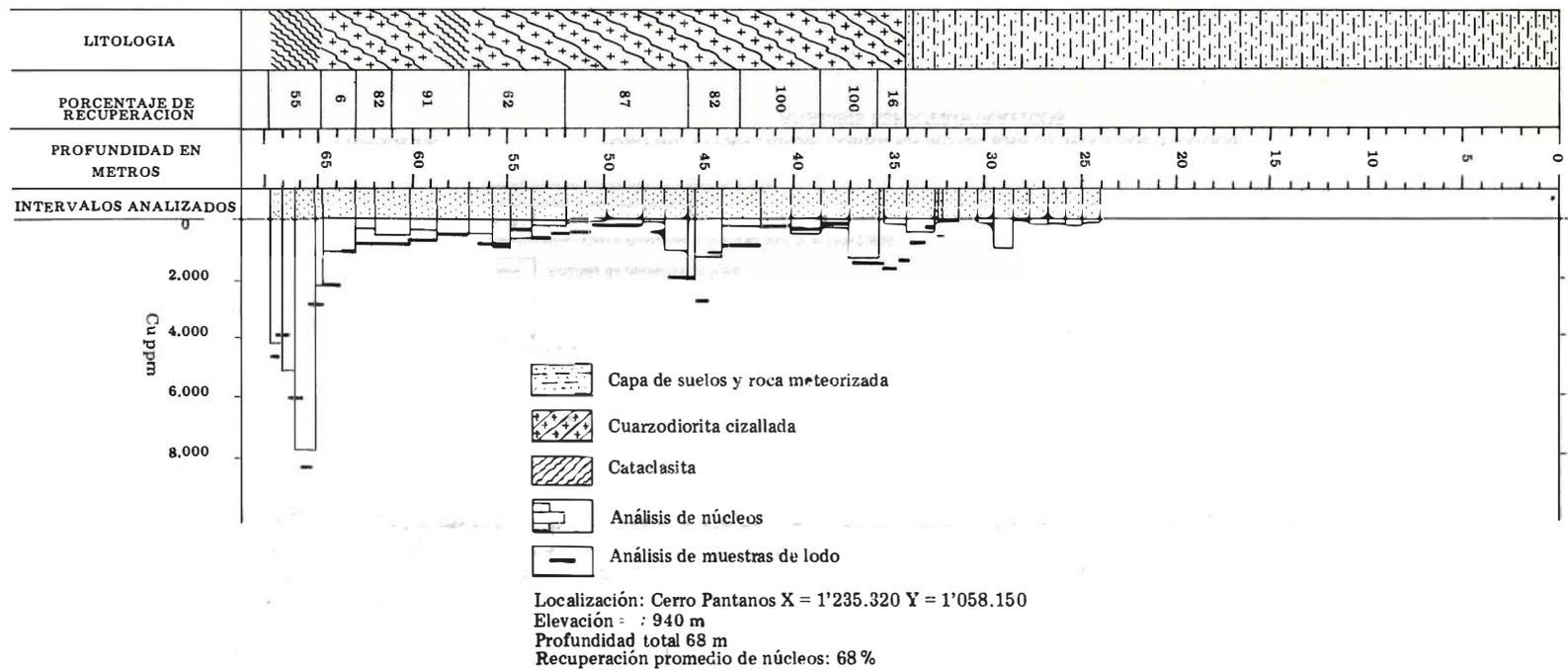
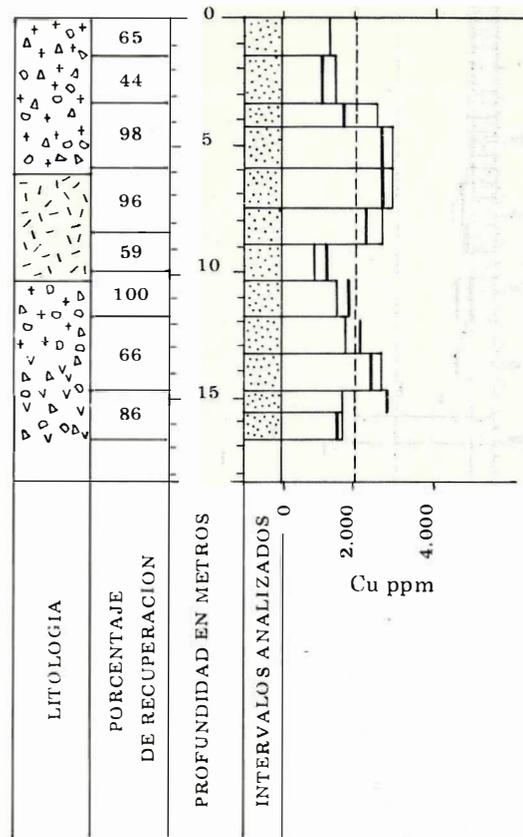


FIGURA 20.

POZO No. 9 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS Y LODOS.  
ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA



Localización: Tributaria de la Quebrada Lano  
 X = 1'235.280 Y = 1'058.870  
 Elevación: 900 m  
 Profundidad total: 18 m (ϕ 8")  
 Recuperación de núcleos: 78

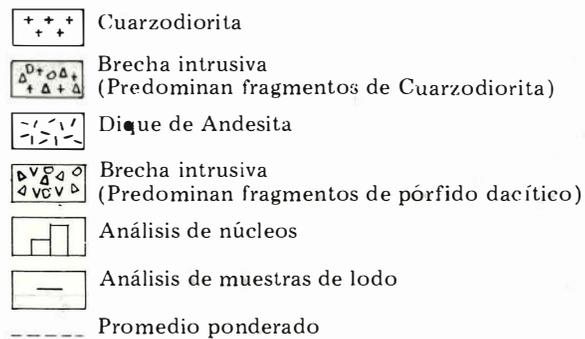


FIGURA 21. POZO No. 10 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS Y LODOS. ANALISIS POR ABSORCION ATOMICA.

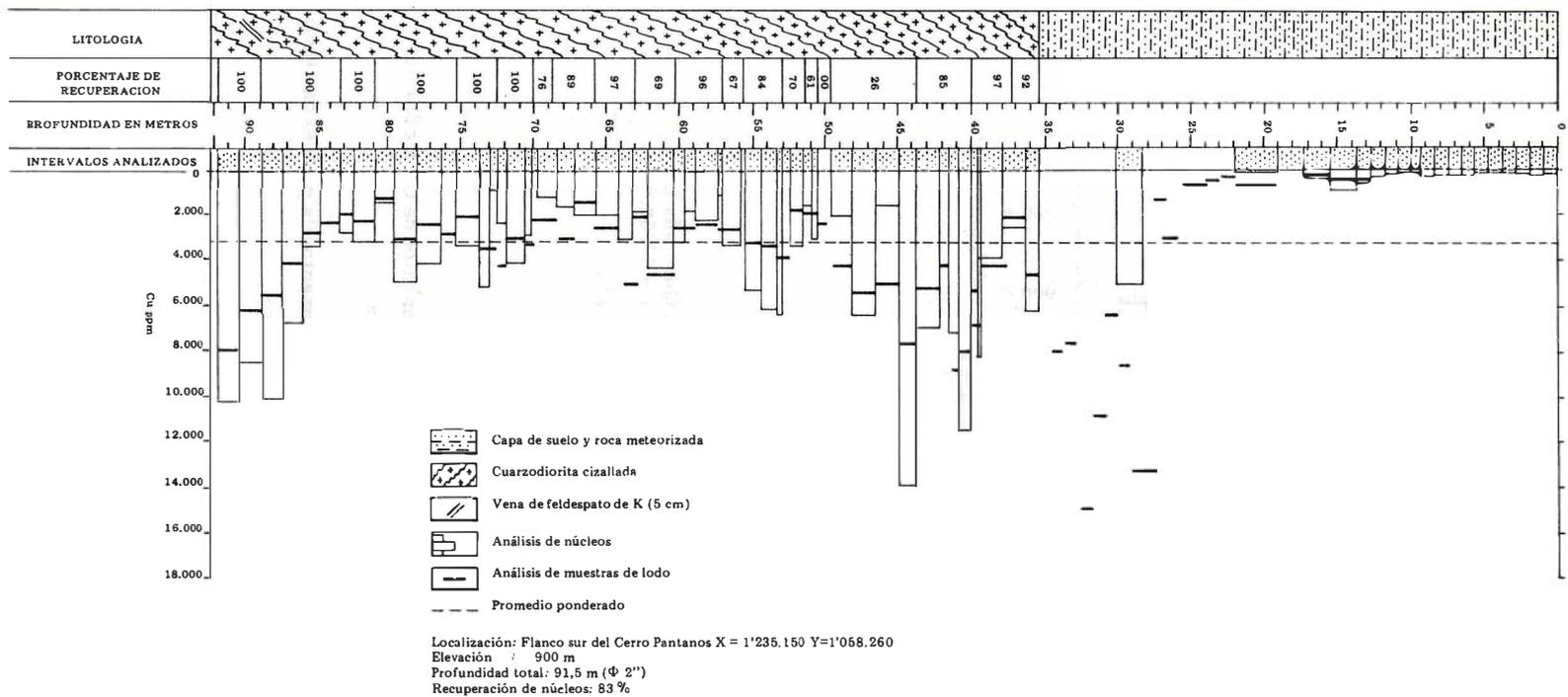


FIGURA 22.

POZO No. 11 - PANTANOS. COBRE EN MUESTRAS DE NUCLEOS Y LODOS  
ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA